



Das nationale
Excellence-Schulnetzwerk



■ MINT-EC-Themencluster Energie

ENERGY IN MOTION

Unterrichtsmodule zum Thema Energie – 2. Auflage

UNTERRICHT GESTALTEN

MINT-EC-Schriftenreihe



Willkommen beim nationalen Excellence-Schulnetzwerk MINT-EC!

MINT-EC ist das nationale Excellence-Netzwerk von Schulen mit Sekundarstufe II und ausgeprägtem Profil in Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik (MINT). Es wurde im Jahr 2000 von den Arbeitgebern gegründet und arbeitet eng mit deren regionalen Bildungsinitiativen zusammen. MINT-EC bietet ein breites Veranstaltungs- und Förderangebot für Schülerinnen und Schüler sowie Fortbildungen und fachlichen Austausch für Lehrkräfte und Schulleitungen. Das MINT-EC-Netzwerk steht seit 2009 unter der Schirmherrschaft der Kultusministerkonferenz der Länder (KMK).

Der Zugang zum MINT-EC-Netzwerk ist über ein bundesweit einmaliges Auswahlverfahren möglich, das Qualität und Quantität der MINT-Angebote der Schulen prüft und dabei höchste Standards ansetzt.

Die Ziele von MINT-EC sind

- Vernetzung exzellenter MINT-Schulen untereinander sowie mit Wirtschaft und Wissenschaft
- Aktive Förderung des MINT-Nachwuchses, Studien- und Berufsorientierung
- Förderung der qualitativen Schulentwicklung und die Anbindung des Fachunterrichts an den aktuellen Stand der Forschung
- Verdeutlichung der gesellschaftlichen Relevanz von MINT

In Kooperation mit Partnern aus Schule, Wirtschaft und Wissenschaft entwickeln wir innovative und bedarfsgerechte Maßnahmen und Angebote für unsere MINT-EC-Schulen.

Zur MINT-EC-Schriftenreihe:

Beiträge und Resultate aus den vielfältigen Aktivitäten des nationalen ExcellenceSchulnetzwerks MINT-EC und der Netzwerkschulen werden in dieser Schriftenreihe zusammengeführt und veröffentlicht.

In verschiedenen Themenclustern erarbeiten MINT-EC-Lehrkräfte und -Schulleitungen Schul- und Unterrichtskonzepte, entwickeln diese weiter und nehmen dabei Impulse aus Wissenschaft und Forschung sowie aus aktuellen Herausforderungen der schulischen Praxis auf.

Die MINT-EC-Schriftenreihe nimmt drei wesentliche Aktionsfelder in den Blick, denen die einzelnen Publikationen zugeordnet werden:

- Schule entwickeln
- Unterricht gestalten
- Talente fördern

Kommentare und Anregungen senden Sie gern an: info@mint-ec.de

UNTERRICHT GESTALTEN

ENERGY IN MOTION

Unterrichtsmodule zum Thema Energie – 2. Auflage

2. Auflage, November 2018



Das nationale
Excellence-Schulnetzwerk

Vorwort zur 2. Auflage

„Was ist Energie? Wie und wie viel Energie nutze ich selbst? Wie kann die Zukunft der Energieversorgung weltweit aussehen?“ Antworten auf diese und viele weitere Fragen zur Rolle der Energie für jeden Einzelnen und für die Gesellschaft gibt die interaktive Ausstellung ENERGY IN MOTION. Sie ist ein beliebter Lernort für Schulklassen ab der Klassenstufe 9 und für die Sekundarstufe II (Gymnasiale Oberstufe).

Von 2014 bis 2017 war ENERGY IN MOTION im Tour TOTAL in unmittelbarer Nähe des Berliner Hauptbahnhofs zugänglich und konnte fast 10.000 Besucher begeistern. Wir freuen uns sehr, dass diese Ausstellung nun mit neuen Informationen ergänzt und im Hauptgebäude der Technischen Universität Berlin wiedereröffnet wird.

Die Arbeitsgruppe des Themenclusters „Energie“, an der auf Initiative von MINT-EC und auf Einladung von ENERGY IN MOTION Lehrerinnen und Lehrer aus sechs verschiedenen Bundesländern teilnehmen, hat die vorliegenden Materialien für den Unterricht entwickelt. Wir danken der Arbeitsgruppe sehr für ihr Engagement und für das gelungene Arbeitsergebnis und laden Sie als Lehrkräfte ein, dieses Material für Ihren Unterricht zu nutzen. Weitere Informationen erhalten Sie unter www.energy-in-motion.berlin.

Bruno Daude-Lagrave

Geschäftsführer TOTAL Deutschland GmbH

Wir freuen uns sehr, dass die Ausstellung ENERGY IN MOTION nun an der Technischen Universität Berlin (TU Berlin) gezeigt werden kann. Zahlreiche Fachgebiete forschen zu diesem so bedeutenden Themenfeld Energie, das eines der großen Herausforderungen für unsere zukünftige Entwicklung nicht nur in Deutschland, sondern weltweit sein wird. Viele der Forschungsergebnisse werden in die Ausstellung einfließen. Weitere Formate werden entwickelt, um dieses Themenfeld mit Expertinnen und Experten, Studierenden, Schülerinnen und Schülern, den Lehrkräften und der interessierten Öffentlichkeit zu diskutieren, sichtbar und erlebbar zu machen. Ein besonderer Fokus liegt auf der Verknüpfung des Themas zum Alltag jedes Einzelnen. Was kann ich tun, um Energie zu sparen und um regenerative Energiequellen zu nutzen? Was kann oder muss ich ändern, um meinen Teil zu einer gelungenen Energiewende beizutragen? Gleichzeitig stellen wir mit der Ausstellung auch die Vielfalt der MINT-Studiengänge mit Energie-, Nachhaltigkeits- und Klimabezug der TU Berlin auf eine sehr attraktive Weise vor.

Auch von mir ein herzliches Dankeschön den Lehrerinnen und Lehrern des Themenclusters „Energie“ für ihr Engagement. Und natürlich auch an Frau Beate Ellrich und Herrn Burkhard Reuss von TOTAL Deutschland, die den Umzug der Ausstellung an die TU Berlin ermöglicht haben.

Prof. Dr. Hans-Ulrich HeiB

Vizepräsident für Lehre, Digitalisierung und Nachhaltigkeit, Technische Universität Berlin

Einleitung

ENERGY IN MOTION lässt sich in etwa als „Energie in Bewegung“ oder „Energie im Wandel“ übersetzen – dieser Titel spiegelt gut wider, welche gesellschaftliche Bedeutung das Thema Energie besitzt. Energieänderungen und Wechsel der Energieformen sind der Antrieb für alle dynamischen Prozesse und es wäre kein Leben und kein Wachstum ohne Energieaufnahme und -abgabe denkbar. Energie ist somit **die** zentrale Größe im Verständnis der Natur und ihrer Gesetze. Es hat durchaus seine Zeit gedauert, bis man erkannte, dass hinter den verschiedenen Rechengrößen der einzelnen Teilgebiete der Physik (z.B. der Thermodynamik, Mechanik etc.) die Größe Energie als gemeinsame Klammer steht, welche lediglich in verschiedenen Formen in Erscheinung tritt. Energie selbst ist eine mengenartige und damit bilanzierbare, dennoch sehr abstrakte und wenig greifbare Größe.

Doch nicht nur die Energie selbst strömt und ist damit in Bewegung, auch die genutzten Energieträger, welche eben diese Energie mit sich führen, befinden sich im Wandel. Waren es im vergangenen Jahrhundert vor allem die fossilen und nuklearen Energieträger, welche das wirtschaftliche Wachstum und damit den Wohlstand gesichert haben, so wurde im Rahmen der UN-Klimakonferenz in Paris im Jahr 2015 erneut deutlich, dass ein Umdenken nötig ist, um die globale Erderwärmung einzudämmen und eine lebenswerte Umwelt zu erhalten. Eine Folgerung muss sein, dass in Zukunft alternative Energieträger weltweit weiter an Bedeutung gewinnen.

Sowohl in den natur- als auch gesellschaftswissenschaftlichen Schulfächern sind die Themen Energie, Energienutzung durch den Menschen und der Klimawandel feste Bestandteile. Den Schulen kommt dabei der Auftrag zu, die Schülerinnen und Schüler über die Problematik aufzuklären und Lösungsansätze aufzuzeigen. Dieses Themenheft soll zu dieser Auseinandersetzung beitragen, indem hier für verschiedene Schulfächer Arbeitsmaterialien und Schülerexperimente zur Verfügung gestellt werden. Mit Hilfe dieser Materialien können sich die Schülerinnen und Schüler umfangreiches Wissen zu den Themen Energie, Klimawandel, Energienutzung und Erneuerbare Energien aneignen und sich kritisch mit diesen auseinandersetzen.

Die Ausstellung ENERGY IN MOTION bildete die Grundlage des Kapitels A. Die Aufgaben reichen von der Erarbeitung des Energiebegriffs über die Energienutzung bis zu den Erneuerbaren Energien. Diese Aufgaben sind darauf ausgerichtet, den Ausstellungsbesuch zu begleiten, sollen jedoch auch darüber hinaus Anregungen für den Unterricht an der Schule bieten.

Im Kapitel B beschäftigen sich die Schülerinnen und Schüler anhand der Aufgaben ausführlich mit den Ursachen und Folgen des Klimawandels. Die abschließende Aufgabenreihe „Kohle, Gas, Öl oder Holz? Eine Familie muss eine Entscheidung treffen!“ zeigt den Schülerinnen und Schülern auf, in welchem Handlungsrahmen sich Privatpersonen bewegen und welche Beiträge diese selbst zum Umweltschutz leisten können.

Das Kapitel C beinhaltet mehrere Unterkapitel zu verschiedenen Themen der Erneuerbaren Energien. Im ersten Unterkapitel setzen sich die Schülerinnen und Schüler mit dem Inhalt des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) und seiner Auswirkung auf die deutsche Stromversorgungsindustrie auseinander. Im zweiten Unterkapitel finden sich Aufgaben, mit denen Schülerinnen und Schüler die Wirkungsweise und Effizienz von Solarmodulen experimentell untersuchen. Im dritten Unterkapitel erhalten die Schülerinnen und Schüler Informationen und Aufgaben, mit deren Hilfe sie die örtlichen Voraussetzungen für den Einsatz von Solaranlagen und Windkraftanlagen untersuchen und die Möglichkeiten der Energiespeicherung beleuchten können. Das vierte Unterkapitel schließlich beinhaltet Modellexperimente zur Wasserstofftechnologie mit Verknüpfungen zum Thema Elektromobilität, die von Schülerinnen und Schülern eigenständig durchgeführt werden können.

Die TOTAL Deutschland GmbH stellt die Ausstellung ENERGY IN MOTION als Lernort für alle Interessenten zur Verfügung und hat die finanziellen Mittel und die organisatorischen Rahmenbedingungen bereitgestellt, die die vorliegende Arbeit erst ermöglicht haben. Wir bedanken uns für diese großzügige Förderung und Unterstützung. Unser besonderer Dank gilt Frau Beate Ellrich, Leiterin der Ausstellung ENERGY IN MOTION am bisherigen Standort, für die strukturierte und zielführende Leitung der Sitzungen sowie für ihre Empathie mit uns Autorinnen und Autoren.

Das Autorenteam wünscht Ihnen viel Freude mit diesem Themenheft. Wir hoffen, dass die erarbeiteten Unterrichtsmaterialien Anregungen geben, den Unterricht zu den Themen Klimawandel und Energie interessant und nachhaltig zu gestalten.

Inhaltsverzeichnis

07 A. BEGLEITUNG DER AUSSTELLUNG

07 A1. Stationsarbeit ENERGY IN MOTION

von Julia Dobbert, Steffen Reblin, André Steffans und Mathilde Stoer (1. Auflage)

Aktualisierung für die 2. Auflage

von Heidemarie Awe, Dr. Stefan Bäuml, Dr. Beate Brase, Andreas Degenhard, Olaf Müller, Hartmut Oswald, Steffen Reblin, Wolfgang Schäfer, Dr. Sebastian Schlund, Kristin Simon, Mathilde Stoer

34 Von der Ausstellung zum Klimawandel

35 B. KLIMAWANDEL

35 B1. Klimawandel

von Heidemarie Awe und Olaf Müller

65 Klimawandel und Erneuerbare Energien

67 C. ERNEUERBARE ENERGIEN

67 C1. Erneuerbare Energien als Garant zur Energieversorgung? Eine kritische Analyse aus gesellschaftswissenschaftlicher Perspektive

von Julia Dobbert, Steffen Reblin und André Steffans

79 C2. Experimente mit Solarmodulen

von Andreas Degenhard

93 C3. Von der Solarernte zur Energieversorgung der Zukunft

von Wolfgang Schäfer und Dr. Sebastian Schlund

115 C4. Wind-Zu-Wasserstoff-Technologie, Elektromobilität

von Dr. Beate Brase und Wolfgang Claas

131 Anhang 1 – Literaturverzeichnis

133 Anhang 2 – Abbildungsverzeichnis

137 Anhang 3 – Tabellenverzeichnis

139 Anhang 4 – Abkürzungsverzeichnis

140 Anhang 5 – Verzeichnis der Autorinnen und Autoren, Impressum

A. BEGLEITUNG DER AUSSTELLUNG

A1. Stationsarbeit ENERGY IN MOTION

Autorinnen und Autoren

Julia Dobbert – Lessing-Schule, Berlin

Steffen Reblin – Ratsgymnasium, Wolfsburg

André Steffans – Andreas-Vesalius-Gymnasium, Wesel

Mathilde Stoer – Canisius-Kolleg, Berlin

Aktualisierung für die 2. Auflage

Heidmarie Awe – Gymnasium Carolinum, Neustrelitz

Dr. Stefan Bäumel – Josef-Hofmiller-Gymnasium, Freising

Dr. Beate Brase – Leibniz Universität, Niedersächsisches Studienkolleg, Hannover

Andreas Degenhard – Ursulaschule, Osnabrück

Olaf Müller – Gymnasium Carolinum, Neustrelitz

Hartmut Oswald – OSZ TIEM, Berlin

Steffen Reblin – Ratsgymnasium, Wolfsburg

Wolfgang Schäfer – Kurfürst Balduin Gymnasium, Münstermaifeld

Dr. Sebastian Schlund – Kurfürst Balduin Gymnasium, Münstermaifeld

Kristin Simon – Wissenschaftsladen Bonn

Mathilde Stoer – Canisius-Kolleg, Berlin

Die Ausstellung ENERGY IN MOTION

Die Ausstellung ENERGY IN MOTION bietet umfangreiche Informationen zum Thema Energie. Mit Hilfe von interaktiven Medien, Spielen, Filmen, Texten und Grafiken werden Grundlagen vermittelt, unsere Energienutzung beleuchtet und ein Ausblick auf zukünftige Technologien gewährt.

Zu den fünf Themeninseln der Ausstellung wurden Aufgaben entworfen, welche es Schülerinnen und Schülern ermöglichen, sich kritisch mit dem Thema Energiegewinnung und Energienutzung auseinander zu setzen.

Themeninsel		Aufgaben
1	Was ist Energie?	1: Energie und Leistung
		2: Der Energieumsatz des Menschen
		3: Energieformen und Energieketten
		4: Energieäquivalente
2	Energiekonsum	5: Geschichte der Energienutzung
		6: Energiekonsum zu Hause
3	Energieversorgung	7: Primär- und Sekundärenergie
		8: Energieversorgung in deiner Region
4	Fossile Energien – Erdöl und Erdgas	9: Die Nutzung von Erdöl und Erdgas
		10: Die Entstehung und Gewinnung von Erdöl und Erdgas
5	Die Weltkugel und die Zukunft der Energieversorgung	11: Die Energienutzung im Vergleich
		12: Strategien der Energieversorgung

Zu Beginn eines jeden Ausstellungsbesuchs erhalten die Gruppen eine kurze Einführung, eine Sicherheitsbelehrung, und es wird ein zehnminütiger Einstiegsfilm zum Thema Energie gezeigt.

Im Anschluss bietet sich den Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit, sich mit der Ausstellung auseinander zu setzen. Die Dauer hängt von der Methodik ab.

Wir empfehlen den folgenden Ablauf (ca. vier Stunden) für die Stationsarbeit

1. Die betreuende Lehrkraft wählt im Vorhinein Aufgaben für ihre Lerngruppe. Eine Aufgabe sollte von zwei bis drei Schülerinnen und Schülern bearbeitet werden.
2. Nach der Einführung unternimmt die Gruppe einen Schnellrundgang durch die Ausstellung, um einen ersten Einblick zu erhalten. Die Lehrkraft teilt anschließend die Aufgaben an die Schülerinnen und Schüler aus.
3. Die Schülerinnen und Schüler bearbeiten innerhalb einer halben Stunde bis zu 60 Minuten (Einschätzung der Lehrkraft) ihre Aufgaben.
4. In einem Galerierundgang stellen sie ihre Ergebnisse an den Themeninseln den anderen Schülerinnen und Schülern vor. Große Gruppen können geteilt werden und an verschiedenen Themeninseln starten. Die Vorstellung einer Aufgabe sollte höchstens zehn Minuten in Anspruch nehmen. Nach 45 Minuten könnte eine Pause eingelegt werden.
5. Zum Abschluss kommen die Schülerinnen und Schüler zu einer Diskussionsrunde zusammen, die von der Lehrkraft angeleitet wird. Sie reflektieren Gelerntes und ziehen Schlüsse für ihr eigenes Verhalten und politische Entscheidungen.
6. Arbeitsmittel:
 - Papier
 - Stift
 - Taschenrechner

Gerne können Sie auch einen anderen Ablauf wählen. Bedenken Sie dabei bitte, dass nicht mehr als acht Schülerinnen und Schüler an einer Themeninsel arbeiten können.

Unter **www.energy-in-motion.berlin** steht ein virtueller Rundgang durch die Ausstellung zur Verfügung. Hier kann zusätzlich ein Quiz genutzt werden.

Themeninsel 1 – Was ist Energie?

Die Themeninsel 1 führt in das Thema Energie und Leistung ein. An zwei Handkurbeln können die Besucher ihre Leistungsfähigkeit testen. Die Leistung wird dabei in Watt angezeigt und mit der von Geräten des Alltags verglichen. Des Weiteren werden Informationen zum Energiebedarf des Menschen geliefert und Energieträger aufgeführt, welche genutzt werden, um Wärme und elektrischen Strom zu produzieren.



Abbildung A1.01 Themeninsel 1

Durch das **Arbeitsblatt 1** erhalten die Schülerinnen und Schüler ein Gefühl für die Einheit Watt. Anhand des Akkuladevorgangs wird der Unterschied zwischen Energie und Leistung verdeutlicht.

Mit dem **Arbeitsblatt 2** setzen sich die Schülerinnen und Schüler mit den Begriffen Grundumsatz und Leistungsumsatz, Kilokalorie und Joule auseinander. Sie bestimmen ihren Grundumsatz und den täglichen Energiebedarf für das Gehirn. Des Weiteren vergleichen sie den Energiegehalt eines Schokoriegels mit ihrer Arbeitsleistung an den Handkurbeln.

In **Arbeitsblatt 3** werden die verschiedenen Energieformen und ihre Umwandlung thematisiert. Die Schülerinnen und Schüler erarbeiten Energieketten und beschäftigen sich mit der Nutzung von Wind, Wasser, Feuer und der Wirkung von Ebbe und Flut.

Arbeitsblatt 4 behandelt vorwiegend die Nutzung von Energieträgern zur Erzeugung von Wärme. Es werden Holzpellets und Heizöl bezüglich ihres Brennwertes und des Lagervolumens verglichen. Auch berechnen die Schülerinnen und Schüler die durchschnittliche Kostenersparnis beim Heizen, wenn ein Einfamilienhaus gedämmt ist.

Arbeitsblatt 1 – Energie und Leistung

Die Leistung P gibt an, wie viel Energie E pro Zeiteinheit umgewandelt wird:

$$P = E/t$$

Die Einheit der Leistung ist ein Watt (1 W), die Einheit der Energie ist ein Joule (1 J) oder eine Wattsekunde (1 Ws) oder 1 Newtonmeter (Nm), (1 J = 1 Ws = 1 Nm).

1. Betreibe eine Handkurbel und ermittle, zu welcher Leistung P du maximal und dauerhaft fähig bist.

$P_{\max} =$ _____

$P_{\text{dauer}} =$ _____

2. Stelle dir vor, du würdest eine Stunde lang kurbeln, um einen Akku aufzuladen. Berechne, wie viel Energie E in J dann in dem Akku gespeichert wäre.
(Tipp: Rechne die Stunde erst in Sekunden um.)

3. Berechne, wie lange du mit dem geladenen Akku ein Smartphone betreiben könntest.

Arbeitsblatt 2 – Der Energieumsatz des Menschen

Lies dir die Informationstexte zum Thema „Wie viel Energie benötige ich?“ durch.

1. Finde Definitionen zu den Begriffen Grundumsatz und Leistungsumsatz. Berechne, wie viele Joule (J) einer Kalorie (cal) entsprechen.

Grundumsatz: _____

Leistungsumsatz: _____

1 cal = _____ J

2. Der Grundumsatz (GU) lässt sich mit folgenden Formeln abschätzen. Berechne deinen Grundumsatz in kcal:

Männer: $GU = 66 + (13.7 \cdot \text{Gewicht in kg}) + (5 \cdot \text{Größe in cm}) - (6.8 \cdot \text{Alter in Jahren})$

Frauen: $GU = 655 + (9.6 \cdot \text{Gewicht in kg}) + (1.8 \cdot \text{Größe in cm}) - (4.7 \cdot \text{Alter in Jahren})$

3. Finde heraus, welcher Anteil des Grundumsatzes durch die Gehirnaktivität entsteht. Berechne aufgrund deines Grundumsatzes, wie viele kcal du täglich nur für die Tätigkeit deines Gehirns benötigst.

4. Ein Schokoriegel versorgt den Körper mit 200 kcal. Berechne, wie lange du die Handkurbel betätigen müsstest, um den Schokoriegel zu verbrennen.

Arbeitsblatt 3 – Energieformen und Energieketten

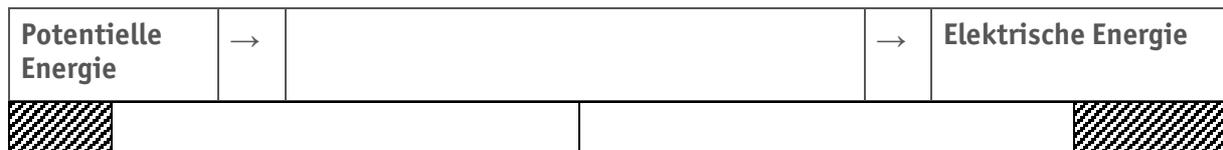
Energie kann nicht erzeugt, Energie kann nur in eine andere Form umgewandelt werden.
Sieh dir die Grafik zu den Energieformen an und lies die Informationen auf den Infoscheiben.

1. Auf der Infoscheibe zur Kernenergie kannst du lesen, wie Kernenergie in elektrische Energie umgewandelt wird. Dies kann man in einer Energiekette verdeutlichen.

Schreibe zu jedem Pfeil der Umwandlung der Kernenergie in elektrische Energie das Gerät auf, welches die Energieform umwandelt.



2. Ergänze die Energiekette. Ergänze mögliche Geräte, welche die Energieformen umwandeln.



3. In den Filmen werden weitere Informationen zu verschiedenen Energieformen gegeben. Notiere die Energieformen und ordne zu, wie wir Menschen sie nutzen.

Energieform	Nutzung

Arbeitsblatt 4 – Energieäquivalente

An der Themeninsel 1 werden verschiedene Energieträger vorgestellt.

1. Notiere, wie viele Joule (J) einer Kilowattstunde (kWh) entsprechen.

1 kWh = _____ J

2. Notiere die Energieträger Heizöl, Holzpellets und einen weiteren sowie ihren Heizwert.

Energieträger	Heizwert in MJ/l

3. Zum Heizen eines **ungedämmten** Einfamilienhauses wird durchschnittlich eine Energie von 40.000 kWh pro Jahr benötigt. Berechne die Menge an Heizöl, die dafür nötig ist. Wie viele Liter Holzpellets müsste man verwenden?

Heizöl: _____

Holzpellets: _____

4. Zum Heizen eines **gedämmten** Einfamilienhauses wird durchschnittlich eine Energie von 12.000 kWh pro Jahr benötigt. Berechne die Menge an Heizöl, die dafür nötig ist. Wie viele Liter Holzpellets müsste man verwenden?

Heizöl: _____

Holzpellets: _____

5. Recherchiere die Preise von Heizöl und Holzpellets. Berechne, wie viel Euro die Familie pro Jahr für den jeweiligen Brennstoff ausgeben müsste (die Schüttdichte von Holzpellets beträgt 0,6 kg/l).

	Ungedämmt	Gedämmt
Heizöl		
Holzpellets		

Themeninsel 2 – Energiekonsum

Die Themeninsel 2 informiert über die Geschichte der Energienutzung durch den Menschen. Filme erläutern den Energiekonsum im Alltag, es werden Energiespartipps aufgezeigt. Anhand von verschiedenen Geräten wie der Kaffeemaschine, dem Smartphone und weiteren werden die energetischen Aufwendungen für Produktion, Transport, Nutzung und Entsorgung dargelegt. An Modellen der Stoffe Beton, Holz und Polyurethane (PUR) wird die Wärmedämmung thematisiert.



Abbildung A1.02 Themeninsel 2

Durch die **Aufgabe 5** beschäftigen sich die Schülerinnen und Schüler mit der Geschichte der Nutzung verschiedener Energieträger und Energiewandler durch den Menschen.

Die **Aufgabe 6** fordert die Schülerinnen und Schüler auf, sich mit dem Privatkonsum von Energie zu beschäftigen und Energiespartipps zu erstellen.

Arbeitsblatt 5 – Geschichte der Energienutzung

Lies dir an der Themeninsel 2 die Geschichte der Energienutzung durch. Notiere die Ereignisse. Recherchiere gegebenenfalls, wofür neue Energieträger oder Energiewandler anfangs genutzt wurden.

Als Energieträger bezeichnet man Rohstoffe. Als Energiewandler bezeichnet man Geräte, die die in Rohstoffen gespeicherte Energie in eine andere Energieform (Wärmeenergie, Strahlungsenergie, etc.) umwandeln.

Zeit	Energieträger / Energiewandler	Nutzung
200 v. Chr.	Wassermühlen	
100 v. Chr.		
100		
600		
1600		
1774		
1821		
1859		
1882		
1921		
1957		
1981		

Arbeitsblatt 6 – Energiekonsum zu Hause

An der Themeninsel 2 erfährst du, wie viel Energie wir in unserem täglichen Leben benötigen und wofür wir sie brauchen. Im Alltag sprechen wir vom Energieverbrauch. Da Energie jedoch weder erzeugt noch verbraucht werden kann, meint man damit, wie viel Energie für unsere Nutzung umgewandelt wird.

1. Recherchiere an der Themeninsel, wie viel Energie in Deutschland pro Tag pro Person benötigt wird. Wie viel Prozent werden davon in Privathaushalten eingesetzt?

Energieverbrauch Deutschland: _____

Energieverbrauch Privathaushalte: _____

2. Höre dir den Bericht zur Energienutzung im Alltag an und notiere die Energiespartipps.

3. Weshalb sollten wir vor allen Dingen bei der Heizung Energie sparen? Welches Material könnten wir verwenden, wenn unser Haus gedämmt werden soll? Begründe deine Antworten und erläutere Vor- und Nachteile des Materials.

4. Suche dir ein Gerät an der Themeninsel aus und verschaffe dir Informationen zu den Energiebilanzen bei Produktion, Transport, Betrieb und Entsorgung. Welche Schlussfolgerungen ziehst du für die Nutzung des gewählten Geräts, wenn du die Umwelt schonen möchtest? Formuliere mindestens je einen Tipp zu Kauf, Nutzung und Entsorgung des Geräts.

Themeninsel 3 – Energieversorgung

An der Themeninsel 3 werden in Grafiken die verschiedenen Netzwerke in Deutschland dargestellt, die Verbraucher mit Strom, Gas und Erdöl versorgen. Kraftwerkstypen und ihr Anteil an der Stromproduktion werden erläutert und der Prozess der Umwandlung verschiedener Primärenergieträger in Sekundärenergieträger veranschaulicht (siehe Abbildung A1.03). Im Film „Welt ohne Strom“ wird aufgezeigt, welche Folgen ein totaler Stromausfall für unseren Alltag hätte.



Abbildung A1.03 Umwandlungskette vom Primärenergieträger zum Sekundärenergieträger

In **Aufgabe 7** beschäftigen sich die Schülerinnen und Schüler mit den Begriffen Primär- und Sekundärenergie und erstellen Versorgungsketten. Sie beurteilen die Zukunftsperspektiven verschiedener Primärenergieträger in Deutschland.

Mit **Aufgabe 8** untersuchen die Schülerinnen und Schüler die Energieversorgung in ihrer Region. Anhand des Films „Welt ohne Strom“ wird ihnen ihre Abhängigkeit von der Bereitstellung elektrischer Energie im Alltag verdeutlicht.

Eine tiefgehende Auseinandersetzung mit der Energieversorgung Deutschlands und dem Erneuerbare-Energien-Gesetz kann mittels der Arbeitsmaterialien in **Kapitel C** erfolgen.

Arbeitsblatt 7 – Primärenergie und Sekundärenergie

Lies dir an der Themeninsel 3 den Text zum Energiemix in Deutschland durch.

1. Gib mit eigenen Worten die Begriffe „Primärenergie“ und „Sekundärenergie“ wieder. Notiere die beiden Primärenergieträger, die in Deutschland die größte Rolle spielen.

Primärenergie: _____

Deutschlands bedeutendste Primärenergieträger: _____

Sekundärenergie: _____

2. Erstelle Energieversorgungsketten. Wähle einen Erneuerbaren Primärenergieträger und einen fossilen Primärenergieträger.
 - a. Notiere in der Tabelle die jeweiligen Schritte der Versorgungskette.
 - b. Vergleiche beide Primärenergieträger. Welche Vor- und Nachteile sind bei ihrer Nutzung zu beachten?

Primärenergieträger		
Produktion/Gewinnung		
Transport		
Verarbeitung/Umwandlung		
Speicherung/Sekundärenergieträger		
Nutzung/Sekundärenergieträger		
Vorteile		
Nachteile		

3. Recherchiere, welche Energieträger Deutschland in Zukunft nutzen möchte. Nenne Gründe für diese Entscheidung.

Arbeitsblatt 8 – Die Energieversorgung in deiner Region

Sieh dir an der Themeninsel 3 die Schaubilder zur Energieversorgung in Deutschland an.

1. Beschreibe die Netzwerke, die deine Region mit Energie versorgen.

2. Arbeite anhand der Schaubilder heraus, welche Primärenergieträger in deiner Region eine große Rolle spielen. Wie verhält es sich mit den alternativen Energiequellen Wind, Wasser und Sonne?

3. Könnte deine Region auch andere Primärenergieträger nutzen? Welchen Energiemix würdest du dir für dein Bundesland wünschen? Begründe deinen Vorschlag.

4. Sieh dir den Film „Stromausfall Fukushima“ an! Stell dir vor, in Deutschland fällt die Stromversorgung aus. Welche Auswirkungen hat dies auf deinen Alltag?

Themeninsel 4 – Fossile Energien – Erdöl und Erdgas

Die Themeninsel 4 setzt sich mit der Förderung, dem Transport und der Verarbeitung der Energieträger Erdöl und Erdgas auseinander. Sie gibt Übersicht über die erdölfördernden Staaten und die entsprechenden Mengen. Die Förderung und Verarbeitung von Erdöl wird in Filmen erläutert, die Nutzung von Erdöl als Ausgangsstoff für verschiedene Materialien thematisiert.



Abbildung A1.04 Themeninsel 4

In **Aufgabe 9** beschäftigen sich die Schülerinnen und Schüler mit denjenigen Staaten, aus denen Erdöl bezogen werden kann, sowie mit der Verarbeitung von Erdgas zu Plastik.

In **Aufgabe 10** erarbeiten die Schülerinnen und Schüler den Prozess der Entstehung, Gewinnung und Verarbeitung von Erdöl und Erdgas.

Arbeitsblatt 9 – Die Nutzung von Erdöl und Erdgas

Erdöl und Erdgas werden in Deutschland zur Erzeugung elektrischen Stroms, aber auch zur Produktion vieler Güter benötigt.

1. Benenne die wichtigsten Staaten, aus denen Deutschland die benötigten Mengen an Erdgas und Erdöl importieren könnte.

2. Schätze mit Hilfe einer Internetrecherche ein, ob sich Deutschland sicher sein könnte, von diesen Staaten dauerhaft versorgt werden zu können. Begründe deine Einschätzung.

Staat	Rohstoff	Fördermenge	Sicherer Partner?

3. Informiere dich im Film 5 „Vom Erdgas zu Plastik“, wie aus Erdgas Plastik hergestellt wird. Beschreibe stichpunktartig den Herstellungsprozess und die Verarbeitung.

Arbeitsblatt 10 – Die Entstehung und Gewinnung von Erdöl und Erdgas

1. Informiere dich im Film 1 „Entstehung und Suche“ über die Entstehung von Öl- und Gaslagern. Notiere dazu fünf Stichpunkte mit den wichtigsten Informationen.

2. Informiere dich in den Filmen 4 und 5 über die Förderung und Verarbeitung von Erdöl.
- a. Benenne die vier Verfahren bei der Verarbeitung von Erdöl.
 - b. Benenne verschiedene Produkte aus der Verarbeitung von Erdöl.

3. Benenne einerseits drei Materialien, für deren Herstellung Erdöl verwendet wird, und andererseits den dafür benötigten prozentualen Anteil von Erdöl.

Themeninsel 5 – Die Weltkugel und die Zukunft der Energieversorgung

An der Weltkugel können interaktiv der Energiebedarf und die Energieproduktion verschiedener Länder der Welt ermittelt und verglichen werden. Die Themeninsel beschäftigt sich mit der Klimaveränderung, mit Erneuerbaren Energieträgern und Speichermöglichkeiten.

Zu dieser Themeninsel wurden die Aufgaben 11 und 12 sowie das Arbeitsblatt 3 (Kapitel C3, S. 108) entwickelt. Eine umfassendere Auseinandersetzung mit dem Thema Klimaveränderung bietet der **Abschnitt B** dieser Schriftenreihe. Die Materialien des **Abschnitts C** beschäftigen sich ausführlich mit Windkraft- und Photovoltaikanlagen sowie der Wasserstoffspeicherung. Hier sind ebenfalls entsprechende Schülerexperimente zu finden.



Abbildung A1.05 Die Weltkugel *Current Flux*

In **Aufgabe 11** vergleichen die Schülerinnen und Schüler die CO₂-Emissionen und Energienutzung von China und Deutschland. Sie setzen sich mit dem Treibhauseffekt und den Folgen der Erderwärmung auseinander.

In **Aufgabe 12** befassen sich die Schülerinnen und Schüler mit der Erzeugung von Erneuerbaren Energien und mit den wichtigsten Energiespeichern.

Das **Arbeitsblatt 3 aus dem Kapitel C3** auf Seite 108 behandelt die Speicherung der Energien. Die Lösungen sind auf den Seiten 112/113 zu finden.

Arbeitsblatt 11 – Die Energienutzung im Vergleich

An der Weltkugel kannst du die Energienutzung verschiedener Staaten vergleichen.

1. Vergleiche die CO₂-Emissionen und die Energienutzung pro Person von China und Deutschland. Runde sinnvoll.

	CO ₂ -Emission (gesamt)	Energienutzung pro Person
China		
Deutschland		

Vergleiche die Zahlen. Recherchiere und begründe die Unterschiede!

2. Recherchiere im Internet die Bevölkerungsgröße von Deutschland und China. Berechne daraus den CO₂-Ausstoß für China, wenn die Bevölkerung genau so leben würde, wie wir es tun.

Bevölkerung Deutschlands: _____

Bevölkerung Chinas: _____

CO₂-Ausstoß: _____

3. Recherchiere, wie der CO₂-Ausstoß mit dem Treibhauseffekt zusammenhängt.

Arbeitsblatt 12 – Zukunft der Energieversorgung

1. Informiere dich an der Themeninsel 5 über die Möglichkeiten, Erneuerbare Energien zu erzeugen. Vergleiche die Erneuerbaren Energien hinsichtlich ihrer Energieträger mit den fossilen Energien.

2. Die Windkraft ist innerhalb der Erneuerbaren Energien für Deutschland von großer Bedeutung. Informiere dich an der Hörstation der Themeninsel 5 mithilfe von Film 2 über die Problematik bei der Energieerzeugung durch Windkraft. Warum sind Energiespeicher für die Energiewende so wichtig?

3. Die Themeninsel 5 zeigt dir die wichtigsten Energiespeicher. Welche der hier gezeigten Kriterien, nach denen sich die Energiespeicher sortieren lassen, sind für die Erneuerbaren Energien besonders wichtig?

4. Mobile Speicher stellen eine besondere Herausforderung dar. Fossile Energiespeicher (Benzin oder Diesel) werden in absehbarer Zukunft nicht mehr zur Verfügung stehen. Die Zukunft der Automobilität liegt daher in der E-Mobilität, d.h. der Antrieb erfolgt allein durch einen Elektromotor. Hierbei unterscheidet man verschiedene Konzepte zur Bereitstellung der elektrischen Energie. Informiere dich an der Themeninsel 5 über diese beiden Möglichkeiten und vergleiche die Vor- und Nachteile.

Lösungen

Lösungen zu Arbeitsblatt 1 – Energie und Leistung

zu 1.

je nach Schüler z.B. $P_{\max}=60\text{ W}$, $P_{\text{dauer}}=20\text{ W}$

zu 2.

$1\text{ h}=3.600\text{ s}$, $P=E/t \rightarrow E=P \cdot t=20\text{ W} \cdot 3.600\text{ s}=72.000\text{ J}$

zu 3.

$P_{\text{smart}}=7\text{ W}$, $t=E/P=72.000\text{ Ws}/7\text{ W}\approx 10.286\text{ s}\approx 2\text{ h } 51\text{ min}$

Lösungen zu Arbeitsblatt 2 – Der Energieumsatz des Menschen

zu 1.

Grundumsatz: Die Energie, die ein Mensch ohne weitere Aktivität zum Leben braucht.

Leistungsumsatz: Die Energie, die er zusätzlich für seine Aktivitäten benötigt.

$1\text{ cal} = 4,19\text{ J}$

zu 2.

Beispiel für eine 17-jährige Frau, die 60 kg wiegt und 1,75 m groß ist: 1.466,1 kcal

zu 3.

Anteil für die Gehirnaktivität am Grundumsatz: 18%

$1.466,1 \cdot 0,18 \approx 264\text{ kcal}$ werden täglich für die Gehirnaktivität benötigt.

zu 4.

$200\text{ kcal}=838\text{ kJ}$, $838.000\text{ Ws}:20\text{ W}=41.900\text{ s}\approx 11\text{ h } 38\text{ min}$

Lösungen zu Arbeitsblatt 3 – Energieformen und Energieketten

zu 1.

Atomreaktor, Turbine, Generator

zu 2.

1. Zeile: Bewegungsenergie/kinetische Energie; 2. Zeile: Turbine, Generator

zu 3.

Energieträger	Nutzung
Wärme/Feuer	Zivilisationsaufbau
Sonne/Strahlung	Fotosynthese→Biomasse
Wasser: Bewegungsenergie	Gezeitenkraftwerke
Wind: Bewegungsenergie	Windkraftanlagen

Lösungen zu Arbeitsblatt 4 - Energieäquivalente

zu 1.

1 kWh=3.600.000 J

zu 2.

Heizöl: 35,19 MJ/l, Holzpellets: 10,99 MJ/l, Braunkohle: 8 MJ/l

zu 3.

ungedämmt: 40.000 kWh/a=144.000.000.000 J/a=144.000 MJ/a,

Heizöl: V=benötigte Energie: Heizwert=144.000 MJ:35,19 MJ/l=4.092 l

Holzpellets: V=144.000 MJ:10,99 MJ/l=13.103 l

zu 4.

gedämmt: 12.000 kWh=43.200 MJ

Heizöl: V=43.200 MJ:35,19 MJ/l=1.228 l

Holzpellets: V=43.200 MJ:10,99 MJ/l=3.931 l

zu 5.

Heizöl: 0,55 €/l:2.250 € ungedämmt; 675 € gedämmt

Holzpellets: 0,16 €/l:2.096 € ungedämmt; 629 € gedämmt

	Holzpellets	Heizöl
Vorteile	Preiswerter, umweltfreundlicher	Geringeres Lagervolumen
Nachteile	Großes Lagervolumen	Etwas teurer, nicht erneuerbar

Lösung zu Arbeitsblatt 5 – Geschichte der Energienutzung

Zeit	Energieträger/ Energiewandler	Nutzung
200 v. Chr.	Wassermühlen	Mahlen von Korn zu Mehl, Bearbeiten von Eisen und Holz
100 v. Chr.	Kohle	Heizen und Kochen
100	Öl	Brennstoff für Lampen, Schmierstoff
600	Windmühlen	Korn mahlen, Wasser in Gärten pumpen
1600	Kohle	Schritt auf dem Weg zur Koksherstellung
1774	Wasserdampf	Dampfmaschine
1821	Erdgas	Beleuchtung, Energieträger
1859	Erdöl	Leuchtmittel, Energieträger, chem. Industrie
1882	Strom	Betrieb von 7.000 Glühlampen in New York
1921	Erdwärme	Geothermiekraftwerk in Kalifornien
1957	Kernenergie	Erster kommerzieller Reaktor: Stromerzeugung
1981	Sonne	Erster Solarpark: Stromerzeugung, Wärmeerzeugung

Lösungen zu Arbeitsblatt 6 – Energiekonsum zu Hause

zu 1.

Energieverbrauch Deutschland: 308 MJ/PersonTag

Energieverbrauch Privathaushalte: 83.000 kJ/PersonTag

zu 2.

Elektrische Zahnbürste und Geräte mit Standby-Betrieb vom Netz nehmen, Heizung im Winter leicht gedrosselt laufen lassen, Wäsche bei 30°C waschen, mit Gas kochen etc.

zu 3.

Holz hat einen Durchlässigkeitswert von 2,09 W/m²K,

Vorteile: gute Dämmung, nachwachsender Rohstoff, speichert Wärme

Nachteile: mäßige Dämmung, brennbar

zu 4.

Die Prozentzahlen geben an, wie hoch der Energieaufwand für Produktion und Transport am Gesamtenergieaufwand inklusive Nutzung der Geräte ist.

Gerät	Produktion	Transport	Betrieb	Entsorgung
Kaffeemaschine	2,85%	0,52%	2.160 MJ (6 Jahre)	70% wiederverwertbar
el. Zahnbürste	Cu, Ni, Cd	k.A.	345 MJ (3 Jahre)	Austausch der Akkus günstig möglich
Auto	10%	1.000 l Treibstoff	6,3 l/km (150.000 km)	95% wiederverwertbar
Fernseher	Metall, Platinen, Mikrochips	0,6 l Treibstoff	43,2 GJ (7 Jahre)	90% wiederverwertbar
Smartphone	Seltene Metalle	0,01 l Treibstoff	20 MJ-44 MJ (2 Jahre)	65% bis 80% wiederverwertbar
Laptop	Lithium-Ionen- Akkus	0,1 l Treibstoff	1.980 MJ (6 Jahre)	Verwertung möglich

Tipps

Energieeffizienz beachten, bei Nichtgebrauch vom Netz nehmen, zur Sammelstelle bringen.

Lösungen zu Arbeitsblatt 7 – Primärenergie und Sekundärenergie

zu 1.

Primärenergie: In der Natur vorkommende Energiequellen

Deutschland: 33,1% Mineralöl, 21,6% Erdgas

Sekundärenergie: Durch Umwandlung von Primärenergie entstehende Endenergie

zu 2. Beispiele sind:

Primärenergieträger	Kohle	Wind
Produktion/Gewinnung	Tagebau, Bergbau	Windrad, Windmühle
Transport	Schiff	-
Verarbeitung/Umwandlung	Braunkohlebriketts, Kokskohle, Kohlestaub	Umwandlung in elektrischen Strom
Speicherung/Sekundärenergieträger	-	Batterien, Staubecken, Umwandlung in chemische Energie (Wasserstoff)
Nutzung/Sekundärenergieträger	Heizen, Strom, Stahlverhüttung	Strom
Vorteile	Leicht lagerbar	Erneuerbare Ressource
Nachteile	Endliche Ressource, hohe Umweltbelastung	Abhängig vom Wetter

Primärenergieträger	Erdöl	Sonne
Produktion/Gewinnung	Bohrung, Pumpen	Warmwasser, Strom
Transport	Pipelines, Tankschiffe, Bahn	-
Verarbeitung/Umwandlung	Raffinerien	Solarthermie, Photovoltaik
Speicherung/Sekundärenergieträger	Tanks	Batterien, Pumpspeicher, Wasserstoff
Nutzung/Sekundärenergieträger	Wärme, Kraftstoff, Vorprodukt	Elektrische Energie
Vorteile	Speicherung, Verfügbarkeit	Erneuerbare Ressource, vor Ort verfügbar
Nachteile	Transport nötig, endliche Ressource	Abhängigkeit vom Wetter

Primärenergieträger	Erdgas	Biomasse
Produktion/Gewinnung	Bohrung	In forstwirtschaftlichen Betrieben
Transport	Pipelines, Tankschiffe	Straßen- und Schienennetz
Verarbeitung/Umwandlung	Reinigung	Verbrennung
Speicherung/Sekundärenergieträger	Unterirdische Kavernen	Holzlager, Holzpellets
Nutzung/Sekundärenergieträger	Wärme, Stromerzeugung, Kraftstoff	Wärme, Strom
Vorteile	Transport, hohe Energiedichte	Erneuerbare Ressource, vor Ort nutzbar
Nachteile	Endliche Ressource, Freisetzung von CO ₂	Trockene Lagerung notwendig

zu 3.

Abschaltung der Kernkraftwerke, bis 2050 hauptsächlich Erneuerbare Energien

Lösungen zu Arbeitsblatt 8 – Die Energieversorgung in deiner Region

Die Lösungen werden am Beispiel Berlin gegeben.

zu 1.

Stromnetzwerk: gut ausgebaut, mehrere Kraftwerke in Berlin und Umgebung, Verbindung zu Polen; Pipelines: geringe Anzahl, Raffinerie bei Schwedt/Leuna; Gasnetz: gut ausgebaut

zu 2.

Primärenergieträger: Steinkohle, Schweröl, Erdgas; alternative Energiequellen in und um Berlin: Photovoltaik, Brandenburg: Wind, Photovoltaik

zu 3.

Zum Beispiel Photovoltaik könnte ausgebaut werden, da viele Fassaden und Dächer zur Verfügung stehen.

zu 4.

- kein Strom (Handy aufladen, Kühlschrank)
- keine Wärmeversorgung (Heizung)
- keine Kommunikation (Internet, Telefon)
- keine Wasserversorgung
- Ausfall von Verkehrsleitsystemen

Lösungen zu Arbeitsblatt 9 – Die Nutzung von Erdöl und Erdgas

zu 1. und 2.

Die Staaten mit den größten Erdölvorkommen sind in der Tabelle aufgeführt.

Staat	Rohstoff	Fördermenge	Sicherer Partner?
Russland	Erdöl/Erdgas	509 Mio.t/629 Mrd. m ³	Ja, außer bei politischen Konflikten (siehe Ukraine-/Krim-Konflikt)
USA	Erdöl/Erdgas	352 Mio.t/651 Mrd. m ³	Ja, solange die Vorkommen ausreichen
Saudi-Arabien	Erdöl	525,8 Mio. t	Ja, außer bei politischen Konflikten (z.B. Menschenrechtsverletzungen)
Vereinigte Arabische Emirate	Erdöl	138 Mio. t	Ja

zu 3.

Die Herstellung von Plastik aus Erdgas erfolgt in folgenden Schritten:

- Ethan aus Erdgas isolieren – Umwandlung von Ethan in Ethen – Spaltung „Cracken“
- Herstellung von Polyethylen – Herstellung von Polyethylenkügelchen – Plastik

Lösungen zu Arbeitsblatt 10

Die Entstehung und Gewinnung von Erdöl und Erdgas

zu 1.

Verrotten von tierischen Resten → Reste sinken zu Boden → Sedimente lagern sich über mehrere Millionen Jahre ab → mehrere Schichten → Plattentektonik verändert die Schichten durch Hebung und Senkung → Kohlenwasserstoffe leichter als Wasser, daher Drang zur Erdoberfläche → im Speichergestein sammelt sich alles → typische Abfolge von oben (Erdgas, Erdöl, Wasser)

zu 2.

- a. Raffinerie → 4 Arten=Trennung, Umwandlung, Veredelung und Mischung
Starke Erhitzung → Trennung der verschiedenen chemischen Verbindungen
- b. LPG (Flüssiggase, wie Propan, Butan, Heizgas, Autogas, Kälteschutzmittel)
Benzin (Kraftstoff)
Olefine, heute Alkene (Herstellung von Kunststoffen und Waschmittelkomponenten)
Kerosine (Heizöl)
Diesel (Kraftstoff)
Paraffine (Schmieröle, Wachse, Bitumen)

zu 3.

Handy (80%)

Schmerztablette (35%)

Plastikflasche (100%)

Waschmittel (5%)

Windrad (70%)

Polyesterjacke (100%)

Lösungen zu Arbeitsblatt 11 – Die Energienutzung im Vergleich

zu 1. Vergleich:

	CO ₂ -Emission	Energienutzung pro Person
China	10.250.000 kt	0,09 TJ
Deutschland	757.000 kt	0,16 TJ

zu 2.

Bevölkerung Deutschlands: 80,62 Mio (2013)

Bevölkerung Chinas: 1.357 Mio (2013)

CO₂-Ausstoß: 12.540.000 kt (2013)

zu 3.

Die CO₂-Moleküle absorbieren zunächst die Wärmestrahlung und strahlen sie dann in alle Richtungen, also auch in Richtung Erde, wieder ab. Dies führt zur Erwärmung der Erdatmosphäre. Daher korreliert die Erderwärmung mit der CO₂-Konzentration.

Lösungen zu Arbeitsblatt 12 – Zukunft der Energieversorgung

zu 1.

Erneuerbare Energien:

Windkraftanlage, Wasserkraftwerk, Solarzelle → Elektrizität

Müllverbrennungsanlage → Wärmeenergie

Algenreaktor → chemische Energie

Fossile Energien → chemische Energien

zu 2.

Fluktuation der Windgeschwindigkeiten, Spitzenlast (Verbrauch) korreliert nicht mit der Erzeugung

zu 3.

Speicherkapazität und Speicherdichte sind hier die wichtigsten Kriterien. Grund: Langzeitspeicher sind für eine flächendeckende Energiebereitstellung essentiell. Kurzzeitspeicher (Akkumulatoren) können kurzfristig das Netz stabilisieren, bieten aber keine Versorgungssicherheit

→ chemische Speicher (Wasserstoff und eE-Methan) sind für die Energieversorgung der Zukunft von größter Bedeutung

zu 4.

Vorteile der mit Akkumulator betriebenen Autos: Serienproduktion (erprobte Technologie), „Betankung“ zu Hause möglich

Nachteile der mit Akkumulator betriebenen Autos: geringe Reichweite, großes Gewicht, Rohstoffproblematik, lange Ladevorgänge („Tanken“)

Vorteile der Brennstoffzellenfahrzeuge: große Reichweite, kurze Tankzeiten, geringeres Fahrzeuggewicht, serienreif

Nachteile der Brennstoffzellenfahrzeuge: Tankstellennetzwerk noch nicht vorhanden, zunächst Wasserstoffproduktion nötig

Von der Ausstellung zum Klimawandel

Die Ausstellung ENERGY IN MOTION zeigt auf, dass Energie in vielfältigen Formen auftritt. Die Endlichkeit der fossilen Energieträger macht es nötig, andere, innovative Wege der Energieproduktion zu gehen. Die zukünftige Versorgung wird nur durch einen Energiemix gewährleistet werden können. Bei der Entwicklung von gesicherten, nachhaltigen und effizienten Anlagen ist die Nutzung der vorhandenen Ressourcen zu berücksichtigen und ein Hauptaugenmerk auf die Auswirkungen dieser Prozesse zu legen. Besonders auf die Umwelt und das Klima ist diesbezüglich zu achten. Die globale Erwärmung und die damit einhergehende Klimaveränderung haben Auswirkungen auf alle Lebensbereiche des Menschen und ziehen tiefgreifende Veränderungen nach sich.

Nachdem in Kapitel A die theoretischen Grundlagen zum Thema „Klima“ geschaffen wurden, werden in Kapitel B die Veränderungen auf der Erde im Laufe der Erdgeschichte betrachtet. In einem Experiment zum Treibhauseffekt können im Labor Auswirkungen des Klimawandels simuliert werden. Anhand einer praktischen Aufgabe können die Schülerinnen und Schüler umweltbewusstes Heizen erlernen, um dann im letzten Abschnitt eigene Schlussfolgerungen und eigene Lösungsansätze zu formulieren.

B. KLIMAWANDEL

B1. Klimawandel

Autorinnen und Autoren

Heidemarie Awe – Gymnasium Carolinum, Neustrelitz

Olaf Müller – Gymnasium Carolinum, Neustrelitz

Arbeitsblatt 1 – Was ist Klima? (Seite 1 von 2)

Das Klima bezeichnet die Gesamtheit aller meteorologischen Vorgänge, die für den durchschnittlichen Zustand der Erdatmosphäre an einem Ort verantwortlich sind. Die Witterung über einen längeren Abschnitt, die bestimmt wird durch die von der Erde aufgenommene Strahlungsenergie der Sonne, die geografische Breite, die Verteilung von Festland und Meer, die Meeresströmung sowie die Vegetation und Bebauung spielen dabei eine große Rolle.

„Das Klima auf der Erde entwickelt sich dynamisch. Es gab für Jahrmillionen sehr warme Zeiträume ohne Eis und Schnee, so dass die höchsten Berge und auch die Pole eisfrei waren. Aber demgegenüber gab es auch mehrere überaus kalte geologische Perioden mit massiver Eisbedeckung, mit Eis und Schnee fast von Pol zu Pol.“ (Ice Age, 2002)

Erkläre, woher diese Temperaturschwankungen kommen.

Es wird deutlich, dass das Klima ein sehr komplexes System ist, das durch vielfältige Faktoren beeinflusst wird.

Vereinfacht kann man Klima als durchschnittliches Wettergeschehen beschreiben. Dafür sind langjährige Wetterbeobachtungen für ein bestimmtes Gebiet Voraussetzung.

Arbeitsblatt 1 – Was ist Klima? (Seite 2 von 2)

1. Informiere dich über die Entwicklung der Wetterbeobachtung.
 - a. Erstelle einen Zeitstrahl, der die Veränderungen in der Wetterbeobachtung aufzeigt.

- b. Beschreibe, warum Wetterbeobachtungen notwendig sind.

2. Fertige eine Skizze zum Aufbau der Atmosphäre an, beschrifte die Bestandteile und kennzeichne den Teil farbig, der für das Wettergeschehen und somit für das Klima ausschlaggebend ist.

Arbeitsblatt 2 – Klimazonen

Gebiete mit gleichen charakteristischen klimatischen Bedingungen werden als **Klimazonen** bezeichnet. Sie verlaufen im Allgemeinen breitenkreisparallel wie ein Gürtel um unseren Planeten.

1. Nenne die fünf großen Klimazonen - ausgehend vom Nordpol bis zum Äquator:

- a. _____
- b. _____
- c. _____
- d. _____
- e. _____

2. Erkläre das Zustandekommen dieser Zonalität.

Arbeitsblatt 3 – Klimafaktoren und Klimaelemente

„Unter Klimafaktoren versteht man verschiedene Prozesse und Zustände, durch welche das Klima hervorgerufen, erhalten oder verändert wird.“
(https://de.wikipedia.org/wiki/Klima#Definition_des_Klimas, abgerufen am 21.12.2015)

Neben der geographischen Breitenlage spielen noch weitere Faktoren eine wichtige Rolle.

1. Lies dir folgende Aussagen durch und überlege, welche Faktoren hier die Unterschiede bedingen:
 - a. Während es im Winter im Süden Deutschlands, insbesondere in den Alpen, regelmäßig Schnee gibt, bleibt es in der Küstenregion im Norden Deutschlands oft schneelos.
 - b. Du verbringst deinen Sommerurlaub in Innsbruck und möchtest natürlich auch einen Ausflug auf die hohen Gipfel im Umfeld der Stadt machen. Man warnt dich aber davor, dich nur in Sommersachen auf den Berg zu begeben.
 - c. Die Lofoten liegen nördlich des Polarkreises, etwa auf dem gleichen Breitenkreis wie Alaska und Grönland. Trotzdem wird dort schon seit Jahrtausenden Landwirtschaft betrieben. Fischfang ist ganzjährig möglich.
 - d. Es ist ein sehr heißer Sommer und du machst einen Ausflug mit deiner Familie. Dabei wandert ihr durch einen Wald. Hier sind die Temperaturen deutlich angenehmer.
 - e. Du wohnst im Berliner Umfeld und musst in das Stadtzentrum. Dort merkst du, dass es viel wärmer ist als bei dir zu Hause.

Leite die Faktoren ab, die für diese Temperaturunterschiede verantwortlich sind.

2. Nenne weitere Faktoren, die das Klima nachhaltig beeinflussen.

Arbeitsblatt 4 – Klimaelemente

Um Veränderungen im Klima feststellen zu können, reichen bloße Beobachtungen nicht aus. Als Klimaelemente bezeichnet man „[...] jede messbare Eigenschaft des Klimasystems der Erde, welche einzeln oder durch ihr Zusammenwirken das Klima auf unterschiedlichen Ebenen prägt und für dessen Charakterisierung genutzt werden (kann)“.
(https://de.wikipedia.org/wiki/Klima#Definition_des_Klimas, abgerufen am 14.06.2018)

Klimaelemente liefern wichtige Erkenntnisse für die Veränderungen des Klimas.

Nenne mindestens sechs dieser messbaren Elemente.

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____
6. _____

Arbeitsblatt 5 – Klimaveränderungen im Laufe der Erdgeschichte

In den letzten Jahrzehnten wird besonders häufig vom Klimawandel gesprochen. **Klimawandel** kann eine Abkühlung oder Erwärmung über unterschiedliche Zeiträume bezeichnen.

Unsere Erde ist ein dynamischer Planet. Man denke nur an die Veränderung der Kontinente durch Kontinentaldrift, an die Umbildung der Oberflächengestalt der Erde durch die Entstehung von Gebirgen oder das Entstehen neuer Inseln durch Vulkanismus. Die Zahl der Beispiele ist enorm, wenn man die gesamte erdgeschichtliche Entwicklung betrachtet.

Das Klima ist ebenfalls davon betroffen. Betrachtet man die Erdgeschichte, so wird ersichtlich, dass es schon immer einen Wechsel von Warm- und Kaltzeiten gab, aber auch innerhalb dieser Perioden Klimaschwankungen auftraten.

Informiere dich im Internet zu Warm- und Kaltzeiten der Erdgeschichte.

1. Nenne Merkmale von Warm- und Kaltzeiten.

2. Ermittle, wann die letzte Eiszeit endete.

3. Benenne die Ursachen für die Temperaturschwankungen, die zu Wärme- und Kälteperioden führten.

4. Zeige auf, welche Prozesse diese Ursachen im Einzelnen bewirken.

Arbeitsblatt 6 – Der natürliche Klimawandel (Seite 1 von 2)

Der Begriff Klimawandel wird oft gleichgesetzt mit globaler Erwärmung, einem Anstieg der Durchschnittstemperatur der erdnahen Atmosphäre. Wissenschaftler sind jedoch bei der Betrachtung des Problems geteilter Meinung. Für einige gilt der Mensch mit seinem Handeln als Hauptverursacher dieser Veränderung, andere sehen diesen Prozess als einen natürlich gegebenen. Gab es doch auch schon ohne das Zutun des Menschen große Klimaschwankungen auf der Erde (siehe Erdgeschichte). Wir sprechen hier vom natürlichen Klimawandel oder dem natürlichen Treibhauseffekt.

1. Beschreibe die Bedeutung des natürlichen Treibhauseffektes für die Erde.

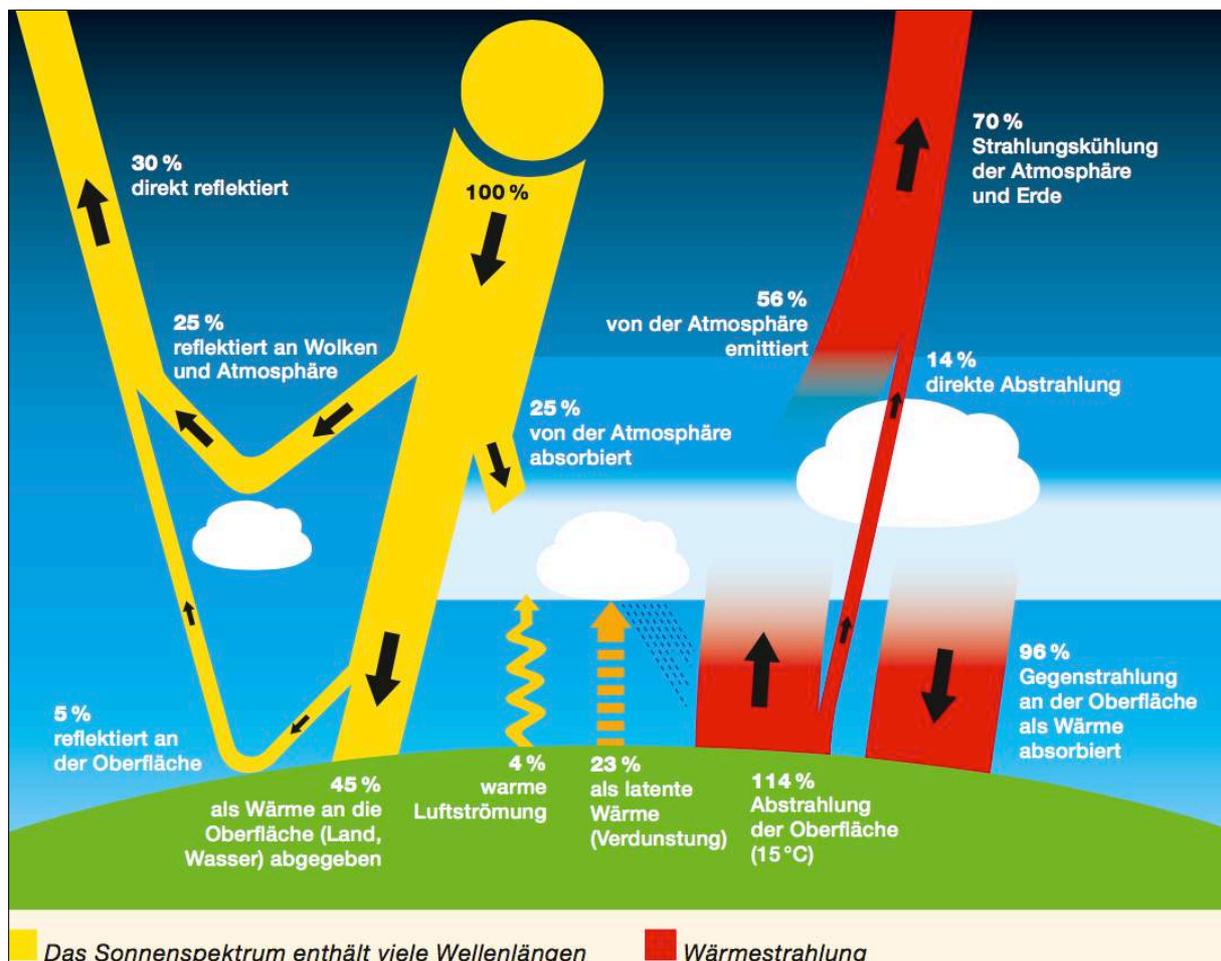


Abbildung B1.01 Die Energiebilanz der Erde

Quelle: Buchal, Christoph / Schönwiese, Christian-Dietrich (2012): Klima – Die Erde und ihre Atmosphäre im Wandel der Zeiten, 2. aktualisierte Auflage. Gütersloh. S. 76.

Arbeitsblatt 6 – Der natürliche Klimawandel (Seite 2 von 2)

2. Erläutere den Energiefluss anhand des Modells zur Energiebilanz der Erde.

3. Begründe, warum der Vergleich mit einem Treibhaus zutreffend ist.

Arbeitsblatt 7 – Anthropogene Einflüsse auf den Klimawandel - Durch Menschen verursachte Veränderungen des Klimas (Seite 1 von 6)

Trotz unterschiedlicher Ansichten scheint unumstritten, dass mit der Existenz des modernen Menschen tiefgreifende Veränderungen in Bezug auf unser Klima einhergehen. Klimadaten belegen dies.

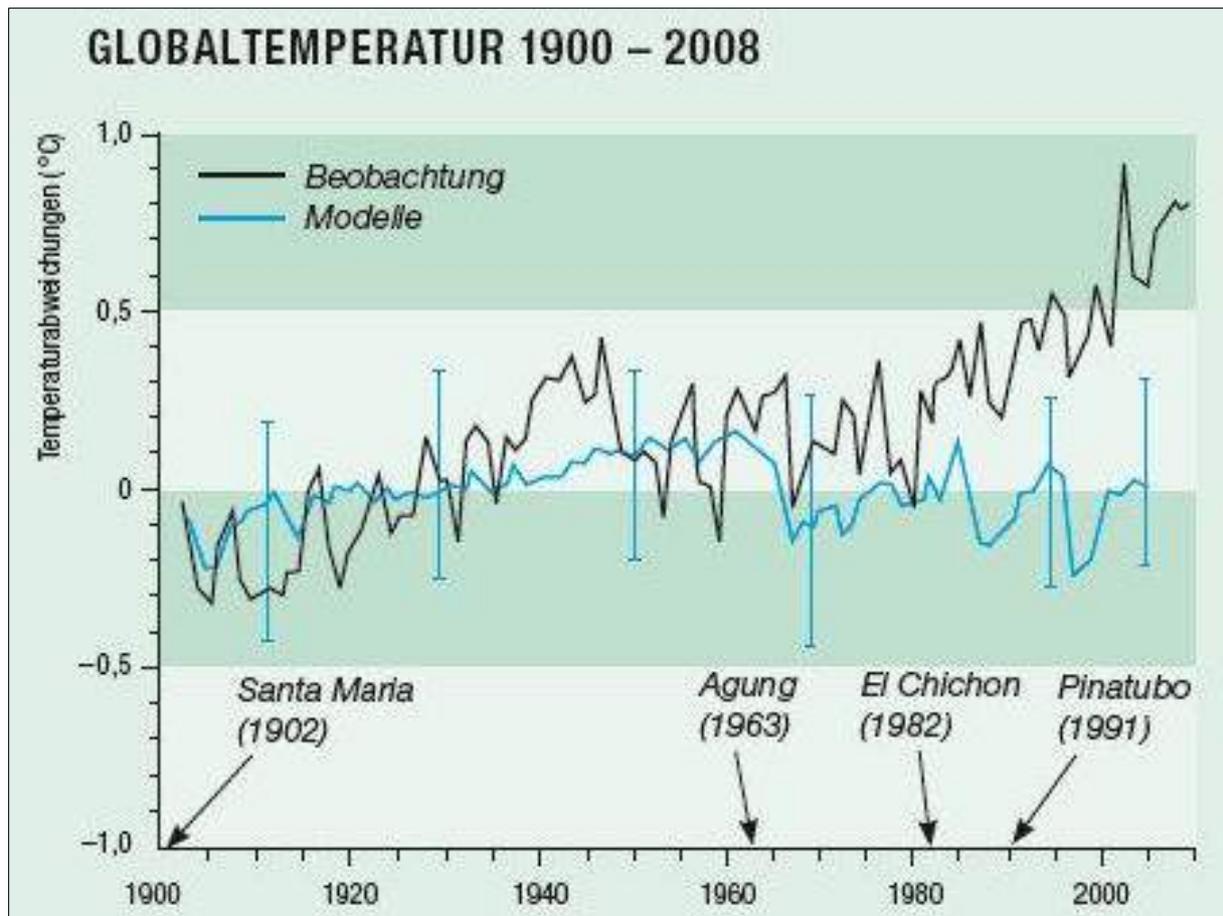


Abbildung B1.02 Diagramm Globaltemperatur 1900-2008

Quelle: Buchal, Christoph / Schönwiese, Christian-Dietrich (2012): Klima – Die Erde und ihre Atmosphäre im Wandel der Zeiten, 2. aktualisierte Auflage. Gütersloh. S. 130.

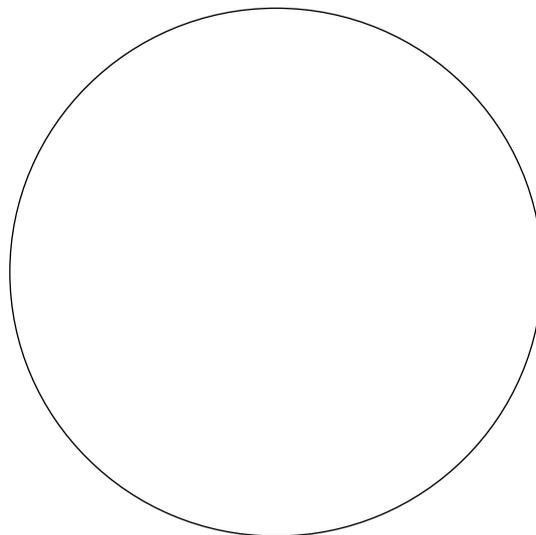
Welche Ursachen gibt es für den rasanten Anstieg der Temperaturen? Klimawissenschaftler machen den übermäßigen Ausstoß von Treibhausgasen, verursacht durch menschliches Handeln, dafür verantwortlich.

Um Klimaveränderungen auf der Erde beschreiben zu können, sind die nachfolgenden Vorbetrachtungen und Vorkenntnisse nötig:

Arbeitsblatt 7 – Anthropogene Einflüsse auf den Klimawandel - Durch Menschen verursachte Veränderungen des Klimas (Seite 2 von 6)

1. Informiere dich über die Zusammensetzung der Atmosphäre der Erde. Erstelle dazu ein Kreisdiagramm, in dem du den Anteil der Gase farbig unterschiedlich hervorhebst.

Gas	Volumenanteil	Zu kennzeichnender Winkel im Kreisdiagramm
Stickstoff		
Sauerstoff		
Kohlenstoffdioxid		
Edelgase		



2. Welche dieser Gase sind für eine Verstärkung des Treibhauseffekts verantwortlich?

3. Nenne drei Beispiele, wie diese Gase in die Atmosphäre gelangen können.

**Arbeitsblatt 7 – Anthropogene Einflüsse auf den Klimawandel -
Durch Menschen verursachte Veränderungen des Klimas (Seite 3 von 6)**

4. Immer wieder taucht in diesem Zusammenhang der Begriff „Ozonloch“ auf.

a. Beschreibe, was man als Ozonloch bezeichnet.

b. Erkläre, welche Rolle das Ozon im Energiehaushalt der Erde spielt.

5. Beschreibe, welche Folgen ein weiterer Temperaturanstieg in der erdnahen Atmosphäre...

a. ...für die Ozeane hat.

b. ...für die Tropen hat.

c. ...für die mittleren Breiten hat.

d. ...für die Polargebiete hat.

**Arbeitsblatt 7 – Anthropogene Einflüsse auf den Klimawandel -
Durch Menschen verursachte Veränderungen des Klimas (Seite 4 von 6)**

6. Menschen beeinflussen das Klima. Darüber gibt ein CO₂-Fußabdruck Aufschluss.
Erstelle deinen CO₂-Fußabdruck.
Nutze dazu die Website des Umweltbundesamtes: www.uba.klima-aktiv.de

Arbeitsblatt 7 – Anthropogene Einflüsse auf den Klimawandel - Durch Menschen verursachte Veränderungen des Klimas (Seite 5 von 6)

Die Erdatmosphäre schützt vor schädlicher UV- und Röntgenstrahlung der Sonne. Sie lässt aber das lebenswichtige Sonnenlicht durch. Bestimmte Gase in der Atmosphäre, Treibhausgase, sorgen für Temperaturen, die Leben ermöglichen. Ohne Treibhausgase würde die Durchschnittstemperatur statt 15° C nur –18° C betragen. In der Atmosphäre findet außerdem ein Großteil des Wasserkreislaufs statt: Das verdunstete Wasser steigt auf, kondensiert, bildet Wolken und fällt als Niederschlag wieder zur Erde.

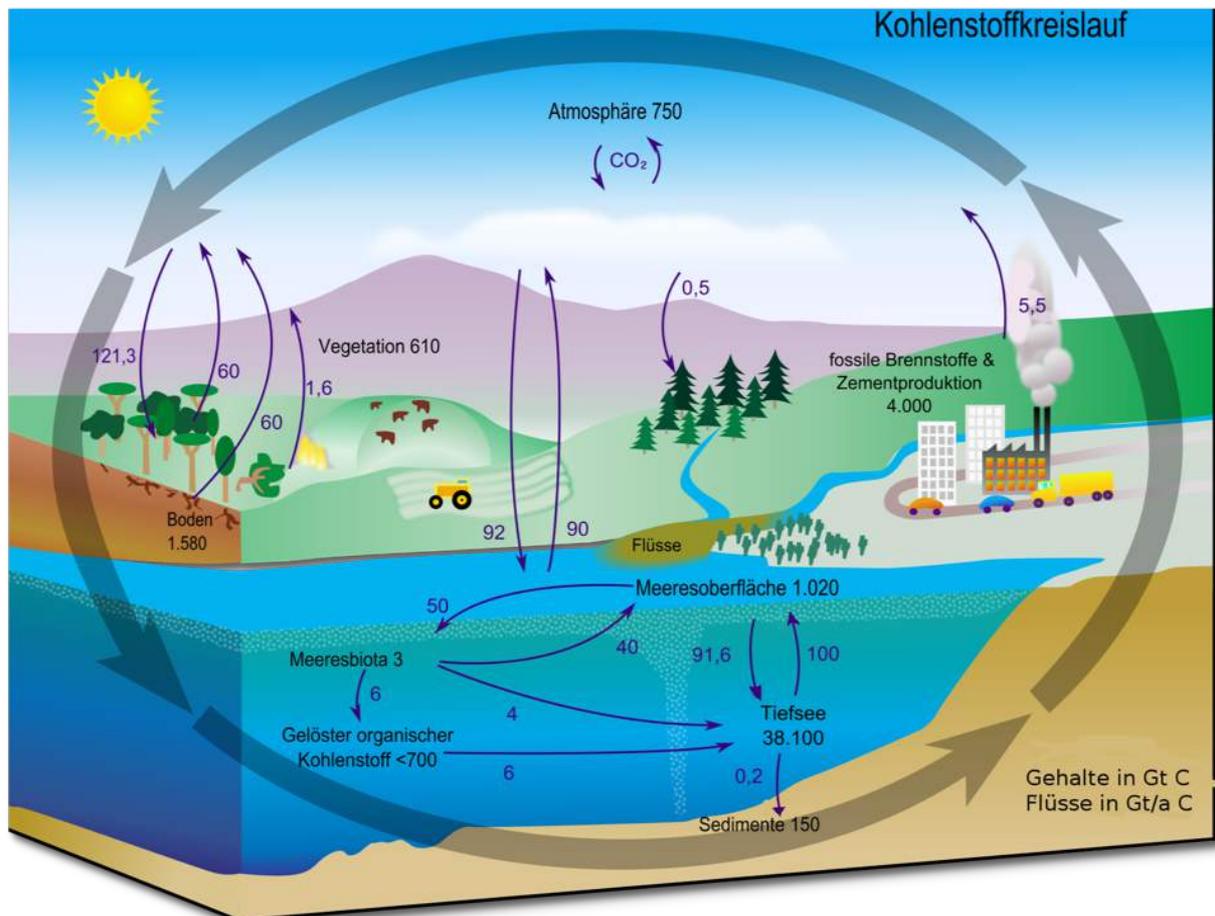


Abbildung B1.03 Skizze des Kohlenstoffkreislaufs

Quelle: FischX/Wikimedia Commons, Online unter: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Carbon_cycle-cute_diagram-german.png, abgerufen am 27.08.2018.

Diagramm des Kohlenstoffkreislaufs

- Die schwarzen Zahlen zeigen, wie viele Milliarden Tonnen oder Gigatonnen Kohlenstoff (Gt C) in den verschiedenen Reservoiren vorhanden sind.
- die violetten Zahlen geben an, wie viel Kohlenstoff zwischen den einzelnen Speichern pro Jahr (Gt/a C) ausgetauscht wird.

**Arbeitsblatt 7 – Anthropogene Einflüsse auf den Klimawandel -
Durch Menschen verursachte Veränderungen des Klimas (Seite 6 von 6)**

Beschreibe die Zusammenhänge in der Skizze des Kohlenstoffkreislaufs. Gehe dabei besonders auf das Verbrennen der fossilen Rohstoffe ein.

Stelle in einer Skizze den Wasserkreislauf der Erde dar.



Experiment zum Treibhauseffekt

Einführung: Auswirkungen des Klimawandels und Anstieg des Meeresspiegels durch den Klimawandel

Mit dem Wort Klimawandel assoziieren viele Menschen Katastrophen auf anderen Kontinenten. Mit einschneidenden Veränderungen auch in Deutschland rechnet kaum jemand. Dass der Klimawandel als globales Phänomen auch uns beeinflusst, zeichnet sich an den klimatologischen Veränderungen während der vergangenen 100 Jahre ab. Registriert wurden in diesem Zeitraum ein Temperaturanstieg der durchschnittlichen Jahrestemperatur um 0,8° C bis 1° C, eine Zunahme der Niederschläge im Winter und eine Abnahme der Schneedecke. Klimaextreme wie Hitzewellen, Starkniederschläge und Sturmböen traten vor allem in den letzten 20 Jahren auf (Schwarz 2007).

Die deutsche Nordseeküste ist wegen ihrer Lage an der Westküste stark den Gezeiten, dem Tidenhub und der Sturmgefahr ausgesetzt, was sie für Klimaveränderungen und den Anstieg des Meeresspiegels nicht nur wegen ihrer geringen Höhe empfindlich macht.

Beobachtungen belegen, dass der Meeresspiegel im 20. Jahrhundert bereits um 10 cm bis 20 cm angestiegen ist. Wissenschaftler gehen davon aus, dass sich der Meeresspiegel als Folge des Klimawandels bis 2100 um weitere 18 cm bis 59 cm anheben wird. Neue Erkenntnisse über Abschmelzprozesse in Teilen Grönlands und der Westantarktis lassen die Besorgnis wachsen, dass auch bei anspruchsvollem Klimaschutz in diesem Jahrhundert ein Anstieg von einem Meter unvermeidbar sein könnte.

Trotz der Bedrohung von Siedlungs-, Lebens- und Wirtschaftsräumen in Küstengebieten werden Küstenregionen immer beliebtere Wahlheimaten. Dieser Trend verschärft die Notwendigkeit eines effektiven Küstenschutzes, der dem Landverlust, der Trinkwasserversalzung und der Zerstörung einzigartiger Ökosysteme entgegenwirkt.

Klimawandel ist ein Streitthema. Die Einschätzungen, ob und, wenn ja, wie schnell sich das Klima auf der Erde verändert, ist Gegenstand von kontroversen Diskussionen in Wissenschaft und Politik. Mit den von Satelliten erhobenen Daten lässt sich allerdings der Beweis führen, dass die Erwärmung eine reale Bedrohung darstellt. Auch die Hauptursache für den Temperaturanstieg ist bekannt: der Treibhauseffekt.

2081-2100 zu 1986-2005			2100 zu 1986-2005	
Szenario	Mittelwert	Bandbreite	Mittelwert	Bandbreite
RCP2.6	0,40	0,26 – 0,55	0,44	0,28 – 0,61
RCP4.5	0,47	0,32 – 0,63	0,53	0,36 – 0,71
RCP6.0	0,48	0,33 – 0,63	0,55	0,38 – 0,73
RCP8.5	0,63	0,45 – 0,82	0,74	0,52 – 0,98

Tabelle B1.01 Anstieg des Meeresspiegels

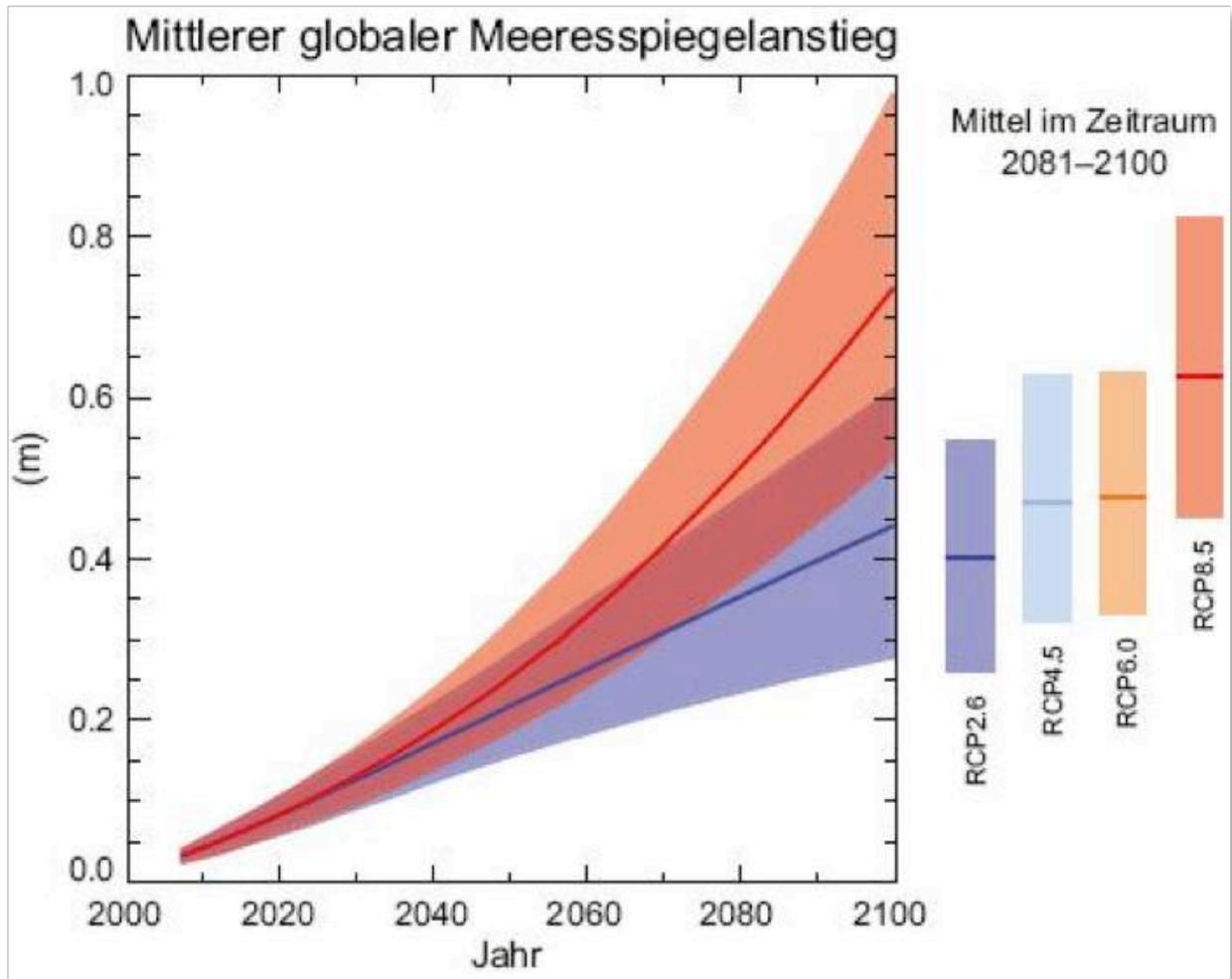


Abbildung B1.04 Meeresspiegelanstieg bis 2100 nach verschiedenen RCP-Szenarien (nach IPCC AR5)

Weiterführende Quellen

<http://wiki.bildungsserver.de>, abgerufen am 21.12.2015

http://www.dlr.de/next/Portaldata/69/Resources/downloads/9_downloads/Fernerkundung_Erdbeobachtung_Lehrerheft.pdf, abgerufen am 21.12.2015

<https://didaktik.physik.fu-berlin.de/inventar>, abgerufen am 21.12.2015

<http://www.leifiphysik.de>, abgerufen am 21.12.2015

<http://www.netexperimente.de>, abgerufen am 21.12.2015

Arbeitsblatt 8 (Seite 1 von 2)**Aufgabenstellung**

Untersuche den Zusammenhang zwischen Eisschmelze und Wasserpegel:
Steigt der Meeresspiegel durch schmelzendes Inlandeis oder schwimmende Eisberge?

Geräte: Wasser, Eiswürfel, 2 Bechergläser, 1 Dose, Rotlichtlampe, Stift für Markierungen

Durchführung:

1. Stelle einen nicht aufschwimmenden Körper (Dose) vorsichtig in ein Becherglas und fülle das Gefäß mit ca. 150 ml bis 300 ml Wasser. Bedecke dabei den Körper nicht mit Wasser. Lege auf den Körper einen großen oder mehrere kleine Eiswürfel. Markiere den Flüssigkeitspegel mit einem Stift.
2. In ein zweites, gleich geformtes und gleich großes Gefäß fülle ebenfalls die gleiche Menge Wasser und gib einen großen oder mehrere kleine Eiswürfel hinzu. Markiere wiederum sofort den Pegelstand.
3. Bringe die Eiswürfel zum Schmelzen. Um den Schmelzvorgang auf dem Körper zu beschleunigen, kann das Eis mit einem Föhn oder mit einer Rotlichtlampe erwärmt werden. Markiere wiederum die Wasserstände. Miss, wenn alles Eis geschmolzen ist, die Höhe des Wasserspiegels vor und nach dem Schmelzen des Eises.
4. Vergleiche, wenn alles Eis geschmolzen ist, die Höhe des Wasserspiegels vor und nach dem Schmelzen des Eises. Welche Veränderungen kann man beobachten?



Abbildung B1.05



Abbildung B1.06



Abbildung B1.07



Abbildung B1.08

Arbeitsblatt 8 (Seite 2 von 2)

Auswertung

Formuliere deine Schlussfolgerungen bezüglich des Vergleichs der Pegelstände in beiden Bechergläsern am Ende des Experiments. Begründe diese.

Anregungen zur Beantwortung:

Das im Wasser schwimmende Eis trägt/trägt nicht zur Erhöhung des Wasserspiegels bei. (Verdrängungsprozesse?)

Bei den Eiswürfeln auf dem die Landmassen darstellenden Körper fließt das Schmelzwasser zu dem übrigen Wasser und erhöht/erhöht nicht den Wasser- bzw. den Meeresspiegel.

Es wird eine Eisschmelze von Meereis (z.B. Arktis) und Gletschern bzw. Inlandeis (Gebirge, Antarktis etc.) simuliert.

Zusätzliche Aufgabenstellungen

Welche Folgerung ergibt sich aus dem Schmelzen der polaren Eismassen, die im Wasser schwimmen, im Hinblick auf die Höhe des Wassers der Weltmeere?

Entnimm dem Atlas die Größe der Fläche von Grönland und die Größe der Fläche der Antarktis. Nimm an, dass die mittlere Höhe des Eisschildes 3.000 m beträgt. Berechne das Volumen des Eisschildes. Berechne danach die Höhe eines Quaders, dessen Grundfläche 510 Mio. km² (Größe der Erdoberfläche) ist. (Das Resultat ist ein Näherungswert!)

Welche Teile Deutschlands lägen unter Wasser, wenn es zu einer vollständigen Abschmelzung der Eisschilde käme?

Anwendung

In diesem Kapitel sollen die aus den vorangegangenen Abschnitten gewonnenen Erkenntnisse von den Schülerinnen und Schülern praktisch angewandt werden. Dazu wird das Beispiel der Modernisierung der Heizungsanlage in einem Wohnhaus herangezogen. Familie Schulz hat, wie in der Praxis, mehrere Angebote eingeholt, die nach einer Einführung in die Thematik zu bewerten sind. Dabei soll auf eine effektive und umweltschonende Nutzung der Heizung geachtet werden. Unterstütze durch die Auswahl einer geeigneten Heizanlage den Schutz des Klimas.

Arbeitsblatt 9

Kohle, Gas, Öl oder Holz? Eine Familie muss eine Entscheidung treffen. (Seite 1 von 9)

Bei der Verbrennung fossiler Rohstoffe ergibt sich eine unterschiedliche CO₂-Bilanz.

Material 1

Familie Schulz lebt gemeinsam in einem Einfamilienhaus mit drei Kindern. Das Haus wurde 1970 gebaut und verfügt über eine Wohnfläche von 160 m².

Die Familie ist sehr umweltbewusst und plant seit längerer Zeit, ihre alte Heizungsanlage zu sanieren.

Neben der Sanierung soll auch gleichzeitig die Wärmedämmung des Hauses vorgenommen werden.

Da die Kosten für eine neue Heizungsanlage sehr hoch sind, hat sich die Familie verschiedene Angebote eingeholt. Diese vier Heizungssysteme kommen dabei für sie in Frage:

- a. ein Feststoffbrennofen
- b. ein moderner Heizölbrenner
- c. ein erdgasbetriebenes Heizsystem
- d. eine Pelletheizung mit gepressten Holzstückchen als Brennmaterial

Für alle diese Heizsysteme holt sich Familie Schulz jeweils ein Angebot von einer darauf spezialisierten Firma ein. Enthalten sind in jedem Angebot sowohl die Anschaffungskosten als auch die momentanen Preise für die Brennstoffe der entsprechenden Heizungen.

Die Heizsysteme unterscheiden sich durch die Art des eingesetzten Brennstoffes. Steinkohle besteht zu etwa 80% aus reinem Kohlenstoff. Daneben sind Wasserstoff, Sauerstoff und eine geringe Menge Schwefel enthalten. Heizöl gewinnt man durch Destillation aus Erdöl und es besteht in vereinfachter Weise aus Nonan (C₉H₂₀). Im Erdgas ist der Hauptbestandteil Methan (CH₄), je nach Lagerstätte mit 75% bis 99%. Man unterscheidet dabei in H-Erdgas mit hohem Anteil an Methan und L-Erdgas mit weniger Methananteil. Die weiteren Bestandteile sind Ethan, Wasserstoff und nicht brennbare Gase wie Kohlenstoffdioxid oder Stickstoff.

In allen Fällen reagieren die Brennstoffe durch vollständige Oxidation mit Sauerstoff zu Kohlenstoffdioxid und Wasser. Die dabei entstehende Reaktionsenthalpie nutzt man, um Wasser in einem zirkulierenden Kreislauf zu erhitzen. Dieses Wasser durchläuft die Wohnräume und erwärmt sie.

Um die Brennstoffe vergleichen zu können, gibt man die Heizwerte an. Diese Werte zeigen, wie viel Energie bei der Verbrennung einer definierten Masse (pro kg) oder eines definierten Volumens (m³) frei wird, wenn der Brennstoff vollständig zu den oben genannten Verbrennungsprodukten umgesetzt wird.

Neben den entstehenden Kosten ist die Familie Schulz, wie bereits erwähnt, an der Umweltverträglichkeit der Anlage interessiert.

Da bei allen vier Verbrennungsprozessen Kohlenstoffdioxid entsteht und dieser maßgeblich am Treibhauseffekt beteiligt ist, wird für die Entscheidung der jährliche CO₂-Ausstoß relevant sein.

Arbeitsblatt 9

Kohle, Gas, Öl oder Holz? Eine Familie muss eine Entscheidung treffen. (Seite 2 von 9)

Material 2

Heizwerte verschiedener Brennstoffe

Brennstoff	Dichte	Heizwert		Brennwert	
		kg·m ⁻³	MJ·m ⁻³	MJ·kg ⁻¹	MJ·m ⁻³
Wasserstoff	0,090	10,8	120	12,8	142
Kohlenmonoxid	1,25	12,6	10,1	12,6	10,1
Methan	0,718	35,9	50,0	39,8	55,4
Propan	2,01	93,2	46,4	101,2	50,3
Erdgas L	0,83	31,8	38,3	35,2	42,4
Erdgas H	0,79	37,4	47,3	41,3	52,3
Gichtgas	1,25–1,35	3,3–3,7	2,4–2,8	3,3–3,7	2,5–2,8
Biogas	0,92–0,98	18–21	18–23	20–24	20–25
Heizöl	850	36,3	42,7		45,4
Diesel	840	35,9	42,7		45,4
Benzin	730	31,3	42,9		46,5
Methanol	812	16,2	19,9		22,7
Ethanol	806	21,6	26,8		29,7
Steinkohle	1.300	38,6	33,8		33,8
Rohbraunkohle	1.200	10,2	30,9		-
Braunkohlenstaub	1.000	19–22	8,5		10,5
Hölzer (trocken)	700	12–15	19–22 17–21		- 18–22

(Aktuelle Daten siehe Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.
www.bmwi.de, abgerufen am 21.12.2015)

Arbeitsblatt 9

Kohle, Gas, Öl oder Holz? Eine Familie muss eine Entscheidung treffen. (Seite 3 von 9)

Material 3

Angebot 1

Familie Schulz
Wiesenweg 12
17458 Schöningen

Sehr geehrte Familie Schulz,
vielen Dank für Ihre Anfrage.

Gern unterbreiten wir Ihnen ein Angebot über unseren modernen Thermostar SB 1247.

Brennwertofen „Thermostar SB 1247“: 3.450,00 €

2 Sicherheitstanks je 1.600,00 €: 3.200,00 €

Gesamtkosten: 6.650,00 €

Die Kosten verstehen sich inkl. Einbau und Service.

Die Kosten für Heizöl mit einer Dichte von 860 g/dm^3 lagen in den vergangenen fünf Jahren im Durchschnitt bei $0,65 \text{ €/dm}^3$.

Für eine ausführliche und persönliche Beratung stehen wir Ihnen selbstverständlich zur Verfügung.

Wir würden uns über eine positive Entscheidung für unser Heizsystem freuen.

Arbeitsblatt 9

Kohle, Gas, Öl oder Holz? Eine Familie muss eine Entscheidung treffen. (Seite 4 von 9)

Angebot 2

Familie Schulz
Wiesenweg 12
17458 Schöningen

Sehr geehrte Familie Schulz,

wir freuen uns, Ihnen ein Angebot für unser Heizungssystem unterbreiten zu dürfen.

Unsere Brennöfen haben lange Tradition, sind somit ausgereift und den neuesten Bedingungen angepasst.

Folgende Fakten sprechen für sich:

- große Brennstoffauswahl: Steinkohle, Scheitholz, Kohlebriketts, Hackschnitzel
- Vorlauftemperatur in der Heizanlage individuell einstellbar
- kein Pufferspeicher nötig (bei reinen Automatik-Kesseln)
- für Fußbodenheizung und Heizkörperheizung sehr gut geeignet
- vollautomatisches Erwärmen von Brauchwasser in die Kesselsteuerung integriert

Sie brauchen keinen Wartungsvertrag!

SheltonEnergie 500: 5.479,00 €

Gern fügen wir Ihnen eine Preisinformation für Steinkohle mit an, die sich für diesen Brennofen als effektiv erwiesen hat.

Polnische Steinkohle Nusskohle I - NEU !

Körnung: 30-70 mm
Asche: max. 8%
Heizwert: 29-30 MJ/kg
verpackt: in Spezialfoliensäcken
1 Sack=25 kg,
40 Säcke=1 Tonne
(auf Spezial-Industriepalette gepackt)

Wir würden uns freuen, wenn Sie sich für unser System entscheiden.

Arbeitsblatt 9

Kohle, Gas, Öl oder Holz? Eine Familie muss eine Entscheidung treffen. (Seite 5 von 9)

Angebot 3

Familie Schulz
Wiesenweg 12
17458 Schöningen

Sehr geehrte Familie Schulz,

wir freuen uns, dass Sie sich für unser derzeitig leistungsfähigstes Produkt auf dem Markt interessieren. Unser Gasburner „Blue Flame“ trumpft mit einer Reihe von Vorteilen gegenüber herkömmlichen Heizungssystemen auf.

Er passt hervorragend zu Ihrem Einfamilienhaus der angegebenen Größe. Da Sie im Einzugsgebiet der Stadtwerke wohnen, können Sie problemlos mit Gas versorgt werden und benötigen keine zusätzlichen Gastanks. Der mittlere Preis für das Erdgas lag in den letzten fünf Jahren bei 0,4243 €/m³. Erfahrungswerte zeigen, dass Sie bei einem Wohnhaus Ihrer Größe im Schnitt

ca. 24 m³ je m² Wohnfläche Erdgas im Jahr

verbrauchen werden. Durch den hohen

Heizwert von 37 MJ/m³

ist der Verbrauch sehr gering. Im Gegensatz zu anderen Heizsystemen ist ein zusätzlicher Ausstoß von Schwefel- und Stickoxiden ausgeschlossen. Damit liegt „Blue Flame“ in der Ökobilanz weit vorn.

Die Technik dieses Heizungssystems ist ausgereift und bei sachgemäßem Gebrauch enorm explosionsicher.

Die Kosten beziehen sich ausschließlich auf die Heizungsanlage:

Gasburner „Blue Flame“: 3.775,00 €

Wir würden uns über eine umweltbewusste Entscheidung Ihrerseits freuen.

Arbeitsblatt 9

Kohle, Gas, Öl oder Holz? Eine Familie muss eine Entscheidung treffen. (Seite 6 von 9)

Angebot 4

Familie Schulz
Wiesenweg 12
17458 Schöningen

Sehr geehrte Familie Schulz,

wir sind hocheifrig, dass Sie die Zeichen der Zeit erkennen und sich für die Heizung der Zukunft interessieren. Heizen mit Holz heißt nachhaltig denken. Die Vorräte für Kohle, Öl und Erdgas sind begrenzt und ein Umdenken ist dringend erforderlich.

Außerdem bedeutet Heizen mit einheimischem Holz Unabhängigkeit von Öl- und Gasproduzenten anderer Länder.

Die Preise für die klassischen fossilen Brennstoffe werden in naher Zukunft marktgebunden steigen. Mit einer Pelletheizung sind Sie weitgehend unabhängig von dieser Entwicklung. Der momentane Preis für Pellets liegt bei 160,00 €/t.

Es ist unumstritten, dass die Verbrennung von Kohle, Gas und Erdöl, bei der immer Kohlenstoffdioxid entsteht, maßgeblich für den Treibhauseffekt verantwortlich ist. Methan, als Hauptbestandteil von Erdgas, ist ein noch größerer Ozonkiller als Kohlenstoffdioxid. Da bei unserer Pelletheizung Energiepflanzen eingesetzt werden, die das schädliche CO₂ binden, spricht man von einer neutralen Bilanz des Treibhausgases.

Eine steigende Nachfrage an Pellets führt dazu, dass immer mehr Energiepflanzen angebaut werden, was sich positiv auf die CO₂-Bilanz auswirkt.

Die Kosten für unsere Heizungsanlage:

Naturalburner 3000: **8.565,00 €**

Zubehör: (u. a. Förderanlage für Pellets): **1.500,00 €**

Wartung: **500,00 €**

Gesamtkosten: **10.565,00 €**

Steigen Sie um! Entscheiden Sie sich für die Zukunft!

Klimawandel und Erneuerbare Energien

Im vorausgegangenen Kapitel wurde gezeigt, dass die Behandlung des Klimawandels sowohl im Unterricht als auch in der Alltagsvorstellung zunächst eine begriffliche Ausschärfung und Auseinandersetzung mit den Fragen „Was ist Klima?“ und „Was versteht man unter Klimawandel?“ erfordert. Dies setzt eine Auseinandersetzung mit Klimazonen und Klimafaktoren sowie den messbaren Eigenschaften des Klimasystems voraus. Auf dieser Grundlage können von Schülerinnen und Schülern Veränderungen im Klima der Erde reflektiert werden.

Über den natürlichen Klimawandel, den natürlichen Treibhauseffekt, werden die Schülerin und der Schüler zu den anthropogenen Einflüssen für den Klimawandel, wie den übermäßigen Ausstoß von Treibhausgasen, geführt. Als Kerngedanke und Ausblick – „Was kann der Einzelne tun, um die Erde langfristig als Lebensraum zu erhalten?“ – wird exemplarisch für eine Familie u.a. die jährliche CO₂-Bilanz der Heizung durch Verbrennung fossiler Brennstoffe wie Öl, Gas und Kohle sowie Holz thematisiert.

Aber nicht nur in der notwendigen Reduzierung der CO₂-Produktion liegt die Aufgabe der Menschheit von heute. Sondern auch in der Auseinandersetzung mit dem steigenden Energiekonsum und den bereits kurzfristig erschöpflichen fossilen Energiereserven. Hier liegt die Herausforderung für die Lösung des Energieproblems und die Notwendigkeit für eine intensivere Behandlung im Unterricht.

Das folgende Kapitel widmet sich deshalb den sogenannten Erneuerbaren Energien. Schwerpunkte der Energieversorgung der Zukunft sollen hier die Solar- und Windenergie sein. Abschätzungen der Solarernte und die Auswertung von Windkarten führen schließlich auch zur wichtigen Diskussion über sinnvolle Energiespeicher.

Anknüpfend an die Interessen der Schülerinnen und Schüler und die Möglichkeiten des Einzelnen, einen Beitrag zur Lösung des Energieproblems zu liefern, wird das Thema Mobilität herausgegriffen und am Beispiel der Elektromobilität vertieft. Sowohl Modellexperimente zu Solarmodulen als auch zur Wind-Zu-Wasserstoff-Technologie für Autos mit Brennstoffzellen werden demonstriert. Effiziente Windparks werden durch Schülerinnen- und Schülerteams simuliert.

C. ERNEUERBARE ENERGIEN

C1. Erneuerbare Energien als Garant zur Energieversorgung? Eine kritische Analyse aus gesellschaftswissenschaftlicher Perspektive

Autorinnen und Autoren

Julia Dobbert – Lessing-Schule, Berlin

Steffen Reblin – Ratsgymnasium, Wolfsburg

André Steffans – Andreas-Vesalius-Gymnasium, Wesel

Erneuerbare Ressourcen als Garant zur Energieversorgung? Eine kritische Analyse aus gesellschaftswissenschaftlicher Perspektive

Fachanalyse

„Die Energieversorgung in Deutschland wird von Jahr zu Jahr „grüner“, der Beitrag der Erneuerbaren Energien wächst beständig“, so das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie im Jahr 2015 (BMWi 2015). Erneuerbare Energien sind aus der politischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Dimension nicht mehr wegzudenken. Doch gerade die Förderung und der Ausbau sorgen fast kontinuierlich für heftige Diskussionen, nicht nur im politischen Zentrum Berlin, sondern auch im gesellschaftlichen Alltag. Dass Erneuerbare Ressourcen umweltschonender als nicht-regenerative Ressourcen sind, sei unbestritten. Doch welche Folgen und welchen Nutzen die einzelnen regenerativen Ressourcen haben, lässt sich aufgrund der schwierigen Datenlage oder fehlenden Vergleichsaspekte manchmal nur unzureichend ermitteln.

Eine weltweite Anpassung der Stromerzeugung ist aufgrund der sich abzeichnenden Verringerung der fossilen Brennstoffe unstrittig. So hat doch die Menschheit durch sich verändernde Gegebenheiten und Anforderungen schon mehrfach ihre Energiequellen gewechselt – vom Holz (bis hinein ins 18. Jh.) zur Kohle (während der Industrialisierung) bis hin zu Öl und Gas (im 20. Jh.). Anders als die fossilen Energiequellen, die bei ihrer Nutzung begrenzt zur Verfügung stehen und zu hohen CO₂-Emissionen führen, basieren die Erneuerbaren Energien auf der Nutzung von Ressourcen, die vorwiegend klimaneutral und regenerativ sind.

Die deutschen Bundesregierungen haben sich so das Ziel gesetzt, die Treibhausgasemissionen in Deutschland bis zum Jahr 2050 im Vergleich zu 1990 um 80% bis 95% Prozent zu reduzieren (Die Bundesregierung o.J.). Seit Jahrzehnten wird der Umbau der Energieversorgung in Deutschland durch Subventionen und Investitionsprogramme für Erneuerbare Energien, gekoppelt mit einer nachhaltigen Verminderung des Energieverbrauchs, vorangetrieben. Der Anteil Erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch in Deutschland stieg 1990 beginnend mit 1,4% auf 27,8% im Jahr 2014 an (Ziesing 2013). Zwar hat der Zuwachs bei den regenerativen Ressourcen im Jahr 2014 auch zum Rückgang bei der Verstromung von Erdgas sowie der klimaschädlichen Steinkohle beigetragen, die besonders CO₂-intensive Stromerzeugung aus Braunkohle bewegte sich jedoch auch im langfristigen Vergleich auf hohem Niveau. Bei den Erneuerbaren Ressourcen weisen vor allem Windenergie sowie Biomasse den höchsten prozentualen Anteil auf (AGEB e.V. 2015).

Die wachsende Bedeutung von Erneuerbaren Energien im deutschen Strombereich ist wesentlich auf das seit dem 1. April 2000 geltende Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) zurückzuführen. Die EEG-Umlage ist sozusagen ein Politikum in Deutschland. Im EEG werden für jede Kilowattstunde Strom aus Solar-, Wind- und Biomasseanlagen auf 20 Jahre garantierte Vergütungen festgelegt. Jedoch setzt der für das Jahr 2022 angesetzte Atomausstieg die Politik zusätzlich unter Druck, die wegfallenden Stromerzeugungskapazitäten zu ersetzen. Dies bei gleichzeitig steigenden Ausgaben für Erneuerbare Energien für private Haushalte und Wirtschaftsbetriebe.

Zusammenfassend zeigt sich also bereits die Schwierigkeit, eine abwägende, differenzierte und reflektierte Analyse aus gesellschaftswissenschaftlicher Perspektive zur Energiepolitik und Energieversorgung in Deutschland zu führen.

Daraus ableitend sollen für die Schülerinnen und Schüler im Folgenden zweierlei Fragen geklärt werden:

- Wie können die verschiedenen Erneuerbaren Ressourcen sinnvoll miteinander verglichen werden?
- Welche Auswirkungen hat das EEG speziell auf die Förderung und den Ausbau der einzelnen Erneuerbaren Energien unter Berücksichtigung verschiedener Akteure?

Didaktische Analyse

Das Thema Erneuerbare Energien und deren kritische Betrachtung lässt sich ausgehend von den gesellschaftlichen Fächern (Politik, Erdkunde, Geschichte, Wirtschaft) in den verschiedenen Rahmenlehrplänen oder Kerncurricula der 16 Bundesländer legitimieren (SenBJS 2006a, Niedersächsisches Kultusministerium 2010a). Überwiegend ist dieses Thema in der Klassenstufe 10, wie zum Beispiel in Berlin unter dem Themenfeld 3: „Globale Zukunftsszenarien und Wege zur Nachhaltigkeit auf lokaler und globaler Ebene“ oder beispielsweise in Niedersachsen unter dem Aspekt Sachkompetenz (Nutzungsmöglichkeiten natürlicher Ressourcen beschreiben) vorgesehen. Ebenfalls lässt sich in den verschiedenen Kerncurricula der Oberstufe (Berlin: Europa - Raumstrukturen im Wandel, Energie- und Umweltpolitik; Niedersachsen: Ressourcen und nachhaltige Entwicklung) diese Analyse und Problematisierung integrieren (SenBJS 2006b, Niedersächsisches Kultusministerium 2010b).

Der Fokus, wie bereits in der Fachanalyse angedeutet, liegt vor allem auf dem Vergleich ausgewählter Erneuerbarer Ressourcen aus gesellschaftswissenschaftlicher Perspektive, um die möglichen sozioökonomischen sowie ökologischen Folgen der Ressourcen valide analysieren und beurteilen zu können. Dabei sollen anhand von verschiedenen Oberkategorien, wie Landverbrauch und CO₂-Emissionen, der Nutzen und die Folgen aufgezeigt werden. Konkretisiert auf das Raumbeispiel Deutschland soll das EEG analysiert und bezüglich der Förderung bestimmter Ressourcen problematisiert werden, um die politische und somit wiederum sozioökonomische Tragweite verdeutlichen zu können.

Die didaktische Reduktion dieses als sehr komplex und schwer zu fassenden Themas wird durch verschiedene Ansätze erreicht. Zum einen erfolgt eine vorherige Auswahl der zu betrachtenden regenerativen Ressourcen. Hierbei werden Wind, Photovoltaik und Wasser, die wiederum thematische Anknüpfungspunkte an die Ausstellung ENERGY IN MOTION haben, gewählt. Als Vergleich dazu werden von den fossilen Energieträgern Kernenergie und Kohle gewählt, welche wiederum in der Ausstellung auf der Themeninsel 4 aufgegriffen werden. Zum anderen wird für die Beurteilung des EEG der Gesetzestext gekürzt, angepasst wiedergegeben und mit verschiedenen Grafiken zur Entwicklung der Erneuerbaren Energien verdeutlicht. Um eine Multiperspektivität zu erreichen, dienen die differenzierten Stellungnahmen von Akteuren als Anhaltspunkte, um die unterschiedlichen Sichtweisen mit dem Datenmaterial abzugleichen und zu beurteilen.

Eine Differenzierung für verschiedene Lerngruppen und Schulformen lässt sich einerseits hinsichtlich der Begrenzung der Kategorien oder Ressourcen erreichen; andererseits über die Anpassung der Operatoren und somit des Anforderungsbereiches II/III. Vor allem das Material zum EEG lässt eine Kürzung und Anpassung der ausgewählten Aufgaben zu. Problematisch könnte aufgrund der fortschreitenden Aktualisierung der Datenmaterialien die veränderte Aussagekraft sein, die von der jeweiligen Lehrkraft anhand der angegebenen Quellen immer wieder überprüft werden muss.

Methodische Analyse

Das vorliegende Material lässt sich differenziert und situations- wie ortsvariabel einsetzen. Beim Besuch der Ausstellung sollten physikalische wie geographische Grundkenntnisse (siehe dazu die didaktischen Anmerkungen zu den einzelnen Arbeitsblättern sowie zur Stationsarbeit der Themeninseln) zum Thema Energie fachlich und methodisch vorausgesetzt werden. Ausgehend von der Bearbeitung der Themeninseln 1 bis 5 und der Internetrecherche vor Ort können die Schülerinnen und Schüler das Arbeitsblatt 1 „Vergleich verschiedener Kraftwerkstypen“ in Form verschiedener Sozialformen (favorisiert sind Expertengruppen) lösen, indem sie zu der jeweiligen Ressource die Parameter erarbeiten, anschließend überprüfen, in der Tabelle ergänzen und im Plenum die auffälligen Charakteristika diskutieren. Die Visualisierung der Ergebnisse mittels Laptop oder Flip-Chart bietet sich hierbei an.

Die sich anschließende Vertiefung und Auseinandersetzung mit dem EEG (als Nachbereitung der Ausstellung) dient nun der differenzierten Beurteilung aus Sicht verschiedener Akteure. Dabei soll zuerst der Inhalt des EEG mit eigenen Worten wiedergegeben und daraus ableitend entwickelt werden, welche Kriterien gegeben sein müssen, um eine „sichere“ Energiepolitik zu gewährleisten. Dabei können die unterschiedlichen Antworten der Schülerinnen und Schüler bereits für eine Diskussion genutzt werden. Diese sollten am Smartboard oder an der Tafel visualisiert und gesichert werden, um nach der Beurteilung darauf zurückgreifen zu können.

Ausgehend vom Allgemeinen recherchieren die Schülerinnen und Schüler dann in Gruppenarbeit den Nutzen sowie die Folgen des EEG für die jeweiligen Akteure (Unternehmer, Politiker, Umweltschützer, Bewohner einer Großstadt oder einer ländlichen Siedlung). Die erarbeiteten Ergebnisse dieser differenzierten Analyse sollen in Form einer Podiumsdiskussion mittels Moderation der Lehrkraft zusammengetragen werden. Die Progression dieser thematischen Einheit – je nach Schulform und Leistungsstärke – erfolgt dadurch, dass die Schülerinnen und Schüler nach der Auseinandersetzung mit den Akteuren nun ihr eigenes Werturteil anhand der Materialien fällen sollen, bevor abschließend ein auf bestimmten Kriterien beruhendes Sachurteil zum Titel der Reihe „Erneuerbare Energien als Garant zur Energieversorgung?“ erreicht werden soll. Ein Rückbezug zu den bereits zuvor gewählten und visualisierten Kriterien zur „sicheren“ Energiepolitik wäre sinnvoll, um einerseits mögliche Kriterien zu problematisieren und andererseits den Lernzuwachs im Kompetenzbereich Beurteilen/Bewerten deutlich werden zu lassen.

Hinweis

Siehe dazu die didaktischen Anmerkungen zu den einzelnen Arbeitsblättern sowie zur Stationsarbeit der Themeninseln.

Arbeitsblatt 1 – Vergleich verschiedener Kraftwerkstypen

Aufgaben

Um zu entscheiden, welche Arten von Kraftwerken in Deutschland gebaut und somit gefördert werden sollten, sind viele Aspekte zu berücksichtigen. Eine Tabelle mit verschiedenen Merkmalen der Kraftwerkstypen soll den Vergleich erleichtern.

1. Erstellt eine Tabelle zu ausgewählten Kraftwerkstypen (Kohle-, Kernkraft-, Wasser-, Wind-, Solarkraftwerk) mit den unten aufgeführten Kriterien. Führt entsprechende Recherchen durch und füllt die Tabelle aus.

Anteil an der Stromerzeugung:

Hier geht es darum, festzustellen, welchen Anteil die jeweiligen Kraftwerkstypen an der Stromerzeugung in Deutschland zum jetzigen Zeitpunkt haben.

Stromgestehungskosten:

Die Stromgestehungskosten beziehen nicht nur die Kosten für den täglichen Betrieb des Kraftwerks ein, sondern auch die Kosten für den Bau des Kraftwerks und für die Beseitigung von Müll, Umweltverschmutzungen und sozialen Auswirkungen.

CO₂-Emission:

Der hohe Ausstoß von Kohlenstoffdioxid ist eine Hauptursache für die Klimaerwärmung. Daher wird oft dieser Wert herangezogen, um die Umweltfreundlichkeit der Kraftwerkstypen zu vergleichen. Nichtsdestotrotz gibt es weitere umweltschädliche Einflüsse durch die Kraftwerke, welche in der Spalte Sonstiges vermerkt werden können.

Landverbrauch:

Die Produktion von Energie ist nur durch die Nutzung von Landflächen zu bewerkstelligen. Dies führt dazu, dass diese Flächen dem Anbau von Nutzpflanzen oder der Besiedlung durch Menschen nicht mehr zur Verfügung stehen.

Subventionen:

Die verschiedenen Kraftwerkstypen werden in Deutschland durch verschiedene Maßnahmen subventioniert. Es gibt Steuererleichterungen, Mittel nach dem EEG oder auch die Übernahme der Folgekosten durch den Bund.

Sonstiges:

Besondere Eigenschaften der Kraftwerke, zum Beispiel ein besonderer Eingriff in die Natur, die in keine der oberen Kategorien fallen, könnten ebenfalls eine Bedeutung für die Nutzung dieser Kraftwerke besitzen.

2. Vergleicht verschiedene Kraftwerkstypen in Bezug auf die aufgeführten Kriterien.
3. Entwickelt eine eigene Meinung zum Einsatz der verschiedenen Kraftwerkstypen in Deutschland und begründet eure Meinung.

Inwiefern ist das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) ein nachhaltiger Ansatz für Deutschlands Energie-Zukunft?

Didaktischer Hinweis

Der folgende Unterrichtsvorschlag bestehend aus Materialien und einem dazugehörigen Aufgabenpaket richtet sich an Lerngruppen, die sich im Rahmen eines Ausstellungsbesuchs mit der Erzeugung und dem Umsatz elektrischer Energie und den Auswirkungen auf die Umwelt auseinandergesetzt haben. Auch die Ausstellungsbereiche zu den Erneuerbaren Energien sollten bei der Bearbeitung berücksichtigt werden.

Es ist darauf hinzuweisen, dass das EEG nur eine von mehreren politischen Interventionen in die Energiewirtschaft darstellt. Zudem bieten die angebotenen Materialien nur einen kleinen Ausschnitt einer Masse an Daten und Fakten zur Energiewirtschaft. Es bestehen sicherlich vielfältige Möglichkeiten zur Materialkritik – wie bei jeder Statistik.

Des Weiteren können lokal und regional wichtige Aspekte hinzugezogen werden. Beispielsweise wurde hier die Frage nach den Arbeitsplätzen ausgeklammert, die durch die Förderung Erneuerbarer Energien entstehen könnten.

Aufgrund der bewusst offenen Aufgabenstellung wird hier keine „Musterlösung“ dargeboten.

Materialien zur weiterführenden Vertiefung sind hier zu finden:

- Informationsportal Erneuerbare Energien des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie mit zahlreichen Texten, Graphiken, Videos etc. Online unter: <https://www.erneuerbare-energien.de>, abgerufen am 27.08.2018.
- Heft „Erneuerbare Energien“ aus der Reihe „Aus Politik und Zeitgeschichte“ der Bundeszentrale für Politische Bildung. Online unter: <http://www.bpb.de/shop/zeitschriften/apuz/28115/Erneuerbare-energien>, abgerufen am 27.08.2018.
- Bundeszentrale für Politische Bildung: Energiepolitik. Online unter: <http://www.bpb.de/politik/wirtschaft/energiepolitik>, abgerufen am 27.08.2018.
- Zahlen, Daten, Fakten zum EEG sind in der Veröffentlichung des BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. Online unter: https://www.bdew.de/media/documents/20140224_Foliensatz-Energie-Info-Erneuerbare-Energien-und-das-EEG-2014.pdf, abgerufen am 27.08.2018.
- Zur Thematik Arbeitsplätze in Zusammenhang mit dem EEG sei auf folgende Publikation verwiesen: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie [BMWi] (2015): Beschäftigung durch Erneuerbare Energien in Deutschland. Ausbau und Betrieb, heute und morgen. Online unter: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/beschaeftigung-durch-erneuerbare-energien-in-deutschland.html>, abgerufen am 27.08.2018.

Arbeitsblatt 2 (Seite 1 von 5)

Inwiefern agiert die Politik bezüglich des Umgangs mit Energie verantwortlich?

Das „Gesetz für den Ausbau Erneuerbarer Energien“ (= Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG))

Die Menschen nutzen immer mehr Energien, verringern auf diese Weise die Rohstoffbestände, z.B. Kohle oder Öl, und verstärken durch die Freisetzung von Kohlenstoffdioxid eine Klimaänderung. Dass dies nicht nachhaltig ist, dürfte jedem klar sein. Aus diesem Grund sparen viele Menschen freiwillig Energie ein, indem sie ihre Häuser dämmen, Stromsparlampen nutzen etc. Aber wie sehen politische Maßnahmen dazu aus und wie sinnvoll sind diese? Anhand eines der wichtigsten Instrumente deutscher Politik soll diese Frage angegangen werden.

Hinweis

Die Zusammenstellung der Materialien auf diesem Arbeitsblatt bildet lediglich einen Ausschnitt aller Parameter zum EEG ab und kann sicherlich nur eine oberflächliche Bearbeitung der Thematik erlauben. Die Materialien können jedoch als Anhaltspunkte dienen, weitere Fragen aufwerfen und auf diese Weise zur Vertiefung in die Thematik nach eigenem Interesse einladen.

Material 1 – Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)

Ziel des EEG [erste Version: 1991] ist es, den Ausbau (v.a.) von Windkraft, Photovoltaik und Biomasse zu fördern und die Erneuerbaren Energien langfristig wettbewerbsfähig zu machen.

So funktioniert das EEG: Die Betreiber von Anlagen zur regenerativen Stromerzeugung erhalten für die Dauer von 20 Jahren einen festen Vergütungssatz pro Kilowattstunde. Die Höhe der Einspeisevergütung richtet sich nach der Art der Stromerzeugung, nach Standorten und nach der Größe der Anlagen. Die Vergütungssätze sind degressiv gestaffelt, das heißt, je später eine Anlage ans Netz geht, desto geringer fällt die für 20 Jahre garantierte Einspeisevergütung aus.

Außerdem regelt das EEG den Einspeisevorrang von Strom aus Erneuerbaren Energiequellen. Das heißt, die Betreiber haben Anspruch auf den unverzüglichen und vorrangigen Anschluss ihrer Anlagen an das Netz sowie die Abnahme ihres Stroms durch die Netzbetreiber.

Da der Strompreis geringer ist als die festen Vergütungssätze für Erneuerbare Energien, entsteht ein Differenzbetrag, die sogenannte EEG-Umlage. Diese Umlage wird vom Endverbraucher mit der Stromrechnung beglichen. Zur Zeit beträgt sie 6,17 Cent pro Kilowattstunde. Energieintensive Unternehmen sind von der EEG-Umlage teilweise befreit.

Arbeitsblatt 2 (Seite 2 von 5)

Material 2 – Auswirkungen des EEG

Das EEG hat viele Auswirkungen. Auch wenn sicherlich bei kaum einem Aspekt zweifelsfrei gesagt werden kann, dass dies eine ausschließliche Folge des Gesetzes ist, so sollten die Entwicklungen dennoch beachtet werden.

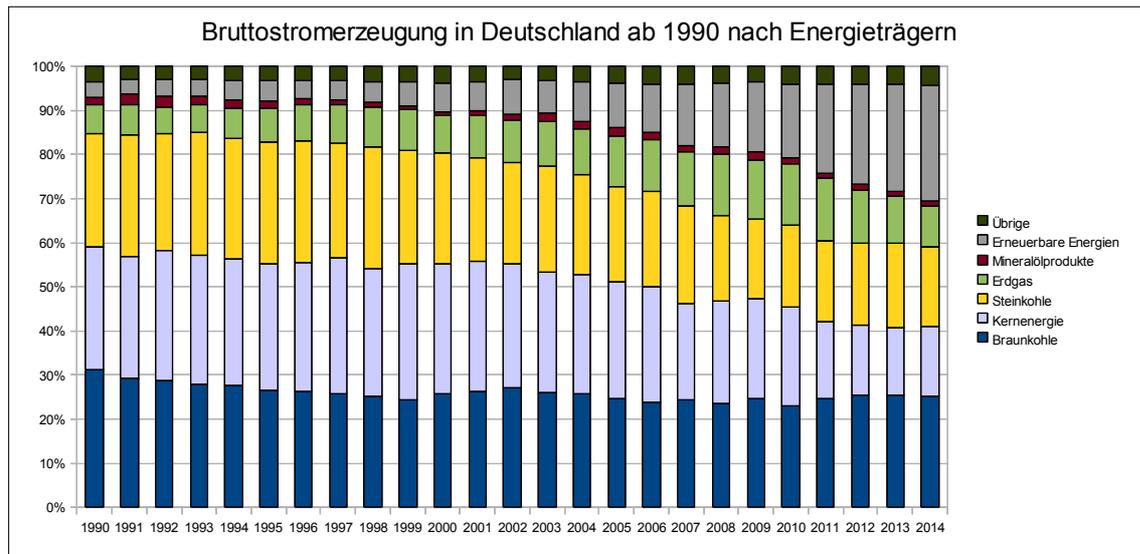


Abbildung C1.01 Bruttostromerzeugung in Deutschland nach Energieträgern 1990-2014 in Prozent (kumuliert auf 100%)

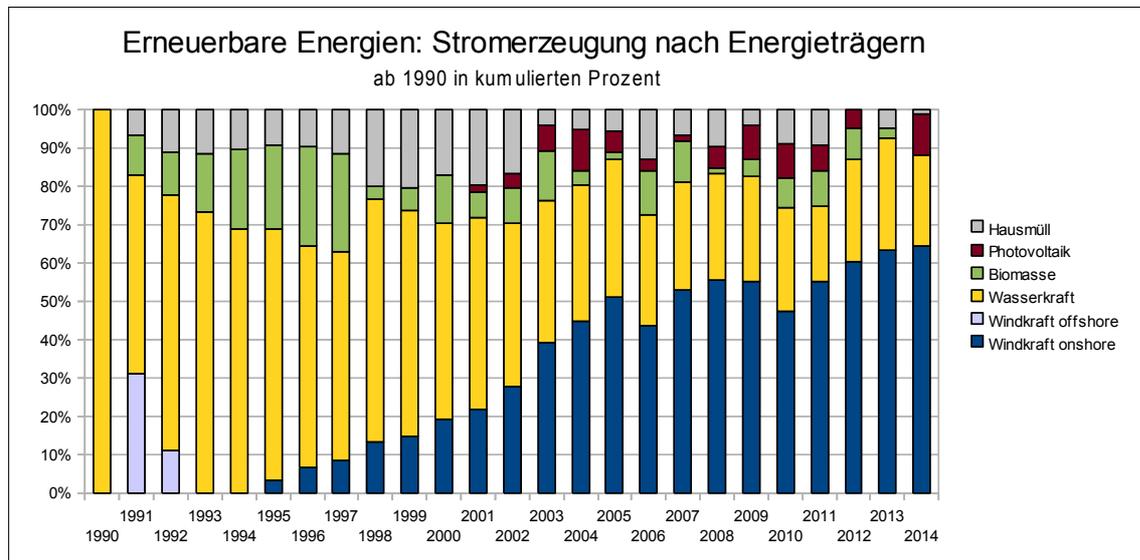


Abbildung C1.02 Erzeugung von Erneuerbare-Energien-Strom nach Energieträgern

Quelle (Abbildungen C1.01 und C1.02): Eigene Darstellungen nach AG Energiebilanzen e.V. [AGEB e.V.](27.02.2015): Strommix. Bruttostromerzeugung in Deutschland von 1990 bis 2014 nach Energieträgern. Online unter: http://www.ag-energiebilanzen.de/index.php?rex_img_type=rex_530&rex_img_file=20151112_brd_stromerzeugung1990-2014.pdf, abgerufen am 20.04.2015.

Arbeitsblatt 2 (Seite 3 von 5)

Material 3 – Erzeugung von EE-Strom und Kosten für die Förderung je in Cent/kWh (bezogen auf EEG-geförderte Strommengen)

Energiequelle	Erzeugung (in GWh)		Anteil (in %)	Kostenanteile EEG-Umlage (in Mio. Euro)		Kostenanteil (in %)	Kosten (in ct/kWh)
	2005	2014	2014	2005	2014	2014	2014
Wind onshore	27.229	62.190	41,67	2.440,7	4.281,0	19,50	6,9
Wind offshore	0	7.398	4,96	0	1.132,0	5,16	15,3
Biomasse	7.366	34.945	23,42	795,2	5.532,0	25,20	15,8
Solar	1.282	36.595	24,52	679,1	10.537,0	48,00	28,8
Wasserkraft	4.953	6.154	4,12	364,1	394,0	1,79	6,4
Geothermie	0	130	0,09	0	31,0	0,15	23,8
Sonstiges	2.000	1.824	1,22	219,8	43,0	0,20	2,35
Gesamt	42.830	149.236	100	4.498,9	21.950	100	-

Tabelle C1.01

Quelle: Errechnet nach Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. [BDEW] (2014): Erneuerbare Energien und das EEG: Zahlen, Fakten, Grafiken. Online unter: [http://www.bdew.de/internet.nsf/id/83C963F43062D3B9C1257C89003153BF/\\$file/Energie-Info_Erneuerbare%20Energien%20und%20das%20EEG%20\(2014\)_24.02.2014_final_Journalisten.pdf](http://www.bdew.de/internet.nsf/id/83C963F43062D3B9C1257C89003153BF/$file/Energie-Info_Erneuerbare%20Energien%20und%20das%20EEG%20(2014)_24.02.2014_final_Journalisten.pdf), abgerufen am 29.08.2015.

Material 4 – Entwicklung der EEG-Umlage

Jahr	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
EEG-Umlage (ct/kWh)	0,19	0,25	0,36	0,41	0,58	0,68	0,88	1,02	1,12	1,13	2,047	3,530	3,592	5,277	6,240	6,170
Anderung zum Vorjahr (%)	-	31,6	44	13,9	41,5	17,2	29,4	15,9	9,8	0,9	81,2	72,4	1,8	46,9	18,2	-1,1

Tabelle C1.02

Quelle: Eigene Darstellung nach Mayer, Johannes N. / Burger, Bruno (2014): Kurzstudie zur historischen Entwicklung der EEG-Umlage. Online unter: <https://www.ise.fraunhofer.de/de/downloads/pdf-files/data-nivc/kurzstudie-zur-historischen-entwicklung-der-eeg-umlage.pdf>, abgerufen am 29.08.2015. Und <https://www.netztransparenz.de/de/EEG-Umlage.htm> (und Unterseiten), abgerufen am 29.08.2015.

Arbeitsblatt 2 (Seite 4 von 5)

Material 5 – Sonderregelungen für stromintensive Unternehmen

Stromintensive Unternehmen des produzierenden Gewerbes sowie Schienenbahnen sind durch die besondere Ausgleichsregelung im EEG zum Schutz ihrer Wettbewerbsfähigkeit von der EEG-Umlage teilweise befreit.

Nach Angaben des Bundesumweltministeriums vom März 2012 war durch diese Regelung zu diesem Zeitpunkt etwa die Hälfte des industriellen Stromverbrauchs ganz oder teilweise von der EEG-Umlage befreit, wodurch sich die EEG-Umlage für die Letztverbraucher (vor allem die Privatkunden) 2011 um etwa 0,9 ct/kWh erhöht hat. Die Zahl der befreiten Unternehmen hat nach der EEG-Novelle 2012 erheblich zugenommen. Die Bundesregierung erwartete, dass 2013 voraussichtlich etwa zweieinhalb Mal so viele Unternehmen wie bisher von der Sonderregelung profitieren könnten.

Für die Produktion einer einzelnen Aluminiumhütte wurden nach journalistischen Recherchen im Jahr 2014 rund 450 Mio. Euro Strompreisvergünstigungen gewährt. Da das betreffende Unternehmen jedoch nur 1.000 Beschäftigte hatte, ergab das eine Subvention von 440.000 Euro pro Jahr und Arbeitsplatz.

Im Januar 2014 kündigte eine niederländische Aluminiumhütte ihre Schließung an, da sie aufgrund des billigen Industriestroms in Deutschland nicht mehr wettbewerbsfähig sei. (Samadi 2013)

Material 6 – Stimmen zum EEG

„Das EEG fördert ineffiziente Technologien“

„[...] Aufgrund der hiesigen Sonnenverhältnisse können Fotovoltaikanlagen durchschnittlich nur etwa 900 von den 8.760 Stunden im Jahr ihre volle Leistung abrufen. Zum Vergleich: Konventionelle Kraftwerke sind üblicherweise 7.500 Stunden verfügbar [...].“

„Weltweite Vorreiterrolle Deutschlands“

„Dank der hohen Investitionen in Deutschland sind Fotovoltaik und Windenergie heute wesentlich effizienter und billiger. Davon profitieren nun auch andere Länder. [...] Damit trägt das EEG auch außerhalb von Deutschland und Europa maßgeblich zum Klimaschutz, zur Schonung fossiler Energieressourcen, zur Verbesserung der Luftqualität sowie zur Elektrifizierung in wind- und sonnenreichen Entwicklungsländern bei.“

„EEG mindert CO₂-Emissionen“

„Die im Rahmen des EEG vergütete Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien hat im Jahr 2011 den Ausstoß von schätzungsweise 70 Millionen Tonnen CO₂ verhindert. Dies entspricht fast einem Zehntel der gesamten deutschen CO₂-Emissionen.“

„EEG Umlage verteuert den Strom für private Haushalte erheblich“

„Seit Einführung des EEG im Jahr 2000 ist die von Haushalten zu entrichtende Umlage von 0,2 Cent je Kilowattstunde kontinuierlich [...] gestiegen, [...] seit Anfang 2013 beträgt sie 5,28 Cent. Für einen typischen 3-Personen-Haushalt bedeutet dies zusätzliche Kosten von 185 Euro im Jahr.“ (Samadi 2013, Chrischilles 2013)

Quellen:

Chrischilles, Esther (2013): Standpunkt. Das EEG setzt die falschen Anreize. Online unter: <http://www.bpb.de/politik/wirtschaft/energiepolitik/152488/standpunkt-das-eeg-setzt-die-falschen-anreize>, abgerufen am 21.12.2015.
Samadi, Sascha / Lechtenböhrer, Stefan / Merten, Frank (2013): Standpunkt. Das EEG ist eine Erfolgsgeschichte. Online unter: www.bpb.de/politik/wirtschaft/energiepolitik/152491/standpunkt-das-eeg-ist-eine-erfolgsgeschichte, abgerufen am 21.12.2015.

Arbeitsblatt 2 (Seite 5 von 5)

Aufgaben

1. Stelle drei Kriterien auf, die eine „gute“ Energiepolitik leisten sollte. Setzt euch anschließend in einer Gruppe von drei bis vier Schülerinnen und Schülern zusammen, stellt euch gegenseitig eure Kriterien vor und einigt euch auf die drei Sinnvollsten.

2. Stelle das EEG in seinen Grundzügen dar.

3. Bildet in der Klasse fünf Gruppen. Die Gruppen repräsentieren folgende Interessensgruppen:
 - a. Unternehmer
 - b. Politiker
 - c. Umweltschützer
 - d. Bewohner einer Großstadt
 - e. Bewohner einer ländlichen Siedlung

Informiert euch – ausgehend von den Materialien – in der Ausstellung und im Internet über den Nutzen und die Auswirkungen des EEG aus der Perspektive eurer Rolle.
Erörtert das EEG in Form einer Podiumsdiskussion zum Thema „Das Erneuerbare-Energien-Gesetz – der Garant zur nachhaltigen Energieversorgung?“

4. Beurteile aufgrund deiner in den Aufgabenbearbeitungen gewonnenen Erkenntnisse und gemäß der von euch erarbeiteten Kriterien, inwiefern sich das EEG als Instrument für eine nachhaltige Energieversorgung eignet.

C. ERNEUERBARE ENERGIEN

C2. Experimente mit Solarmodulen

Autor

Andreas Degenhard – Ursulaschule, Osnabrück

Experimente mit Solarmodulen

Einleitung

Die in diesem Abschnitt beschriebenen Experimente sind als Schülerversuche im Fach Physik/Technik konzipiert und sollen die Betrachtungen zur Energie in dieser Zusammenstellung von Unterrichtsmaterialien auf experimenteller Ebene ergänzen. Alternativ können die Experimente auch als Leitfaden für eine eigenständige Unterrichtsreihe zu Solarmodulen und damit als vertiefende oder angewandte Betrachtungen zu Halbleitern eingesetzt werden. Die nachfolgenden Ausführungen beschränken sich dabei auf einige ausgewählte und grundlegende Experimente, die schließlich auf Leistungs- und Energiebetrachtungen bei Solarmodulen hinführen.

Um eine hohe Schüleraktivität und Motivation für das eigenständige Entdecken und Erforschen technischer Zusammenhänge zu fördern, sind die Schülerversuche so angelegt, dass diese mit einfachen Materialien und grundlegenden Kenntnissen im Bereich elektrischer Messprozesse durchgeführt werden können. Auch soll die Lehrkraft hinsichtlich Durchführung und Vorbereitung der Experimente weitestgehend entlastet werden, so dass möglichst viel Freiraum für interessante Fragestellungen und vertiefende Diskussionen besteht. Zudem wurde bei der Planung dieser Schülerversuche bedacht, die gegebenenfalls entstehenden Kosten für zusätzlich zur vorhandenen Grundausstattung benötigte Materialien gering zu halten. Die hier nachfolgend ebenfalls dokumentierten Versuchsergebnisse sollen somit zeigen, dass solche grundlegenden Experimente in einem kostengünstig gewählten Rahmen durchführbar sind.

Die nachfolgenden Beschreibungen enthalten Hinweise zur Durchführung der Experimente, wobei auch die Versuchsaufbauten und die Versuchsergebnisse dokumentiert sind. Die Reihenfolge der nachfolgenden Abschnitte entspricht dabei einer möglichen Abfolge im Unterricht. Beginnend mit dem Aufbau eines Solarmoduls soll dieses zunächst als Strom- bzw. Spannungsquelle verstanden werden. Nach einer Reihe von Versuchen sollen die Leistungsmessung und sich daraus ergebende Fragestellungen im Fokus der Betrachtungen stehen. Das den Schülerinnen und Schülern zur Verfügung gestellte Material beschränkt sich daher möglicherweise auf das als Kopiervorlage beigefügte Arbeitsblatt, welches die hier beschriebenen Versuche als Arbeitsaufträge mit gegebenenfalls weiterführenden Fragestellungen enthält.

Materialien

Für die Schülerversuche werden überwiegend Materialien verwendet, die an Schulen in der Regel Teil einer Standard-Ausstattung sind. Hierzu zählen Kabel und Messgeräte für elektrischen Strom und Spannung, wobei digitale Ausführungen dieser Messgeräte bei den hier beschriebenen Versuchen sicherlich vorteilhaft, aber nicht zwingend erforderlich sind.

Darüber hinaus werden möglicherweise zusätzliche Materialien benötigt. Diese lassen sich in vier Gruppen unterteilen:

1. Wenn Versuche in der Photovoltaik unabhängig von einer ausreichenden Sonneneinstrahlung durchgeführt werden sollen, bietet sich die Anschaffung einer geeigneten künstlichen Lichtquelle an. Oftmals ist diese jedoch bereits aufgrund anderer Schülerversuche vorhanden. Geeignet sind Halogenlampen oder insbesondere LED-Strahler, wobei bereits eine geringe Leistung zur Durchführung der Versuche ausreicht. In den nachfolgend beschriebenen Versuchsdurchführungen wurde ein LED-Strahler mit einer Leistung von lediglich zehn Watt eingesetzt, was sich als völlig ausreichend in Bezug auf die Versuchsergebnisse erwiesen hat. Ein solcher LED-Strahler hat zudem den Vorteil einer geringen Wärmeentwicklung.

2. Mittlerweile werden günstige Solarmodule zum Experimentieren angeboten. Oftmals geben Hersteller konkret an, dass diese besonders für Solarexperimente geeignet sind und empfehlen diese Produkte bereits ab einem Alter von zwölf Jahren. Manche Solarmodule sind dabei bereits mit Schraubkontakten versehen, so dass Kabelverbindungen auf einfache Weise erfolgen können. Für die hier beschriebenen Experimente wurden Solarmodule verschiedener Hersteller mit überwiegend ähnlichen Ergebnissen getestet.
3. Darüber hinaus sind möglicherweise noch einige wenige Bauteile erforderlich, falls diese nicht vorhandenen Beständen entnommen werden können. Hierzu gehören einfache (zu schraubende) Bananenstecker und Kabel (Doppellitze) gegebenenfalls in den Farben rot und schwarz (Standard). Bei den Kabeln ist auf einen ausreichenden Querschnitt zu achten oder darauf, dass die Litze aus stabilem Draht besteht, da die Kabel an den Schraubverbindungen oftmals abreißen. Darüber hinaus sollten Krokodilklemmen mit Steckverbindung und rote und grüne Leuchtdioden vorhanden sein. Die Abbildung C2.01 zeigt einige bisher beschriebene Bauelemente sowie die Schraubkontakte der hier verwendeten Solarmodule.

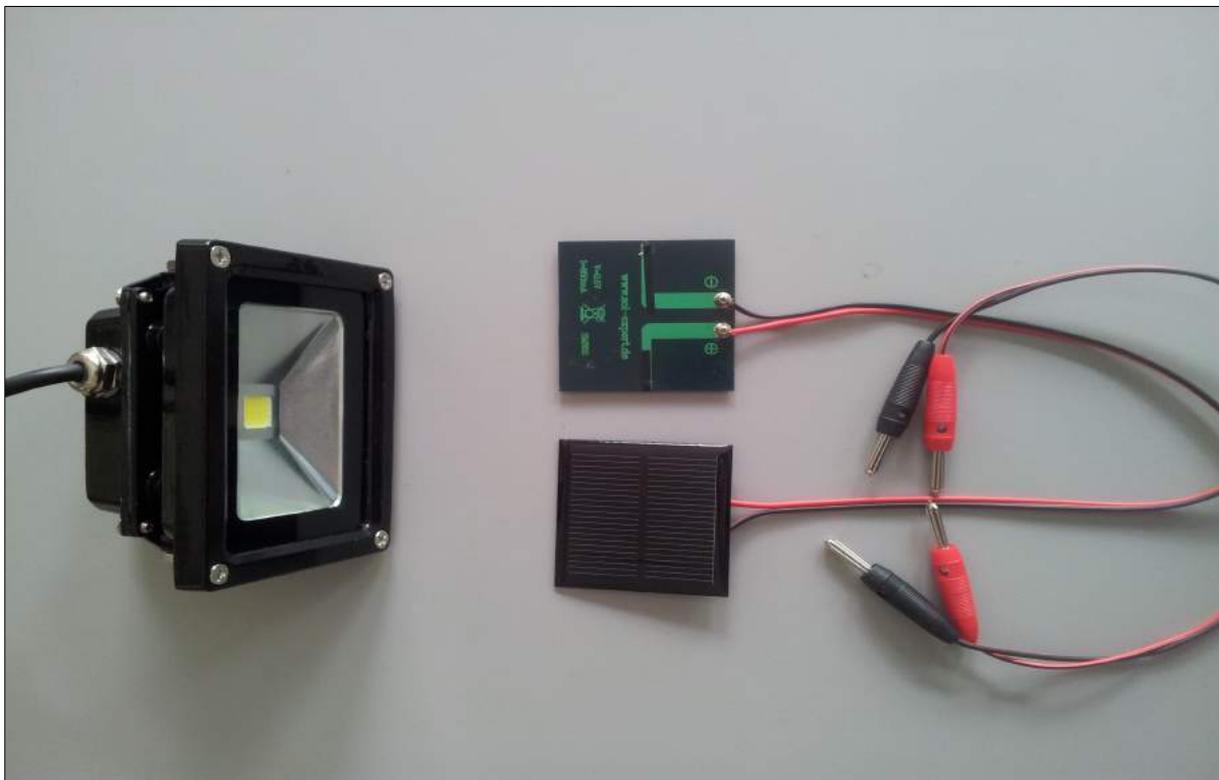


Abbildung C2.01 Die Abbildung zeigt einige hier beschriebene grundlegende Materialien.

4. Um die Leistungsabgabe an einen Verbraucher zu messen, werden Widerstände benötigt. Die Größe der Widerstände richtet sich nach dem verwendeten Solarmodul. Für die nachfolgend verwendeten Solarmodule sind Widerstände der Größenordnung 1 Ohm, 10 Ohm und 100 Ohm ausreichend, wobei deutlich mehr 1 Ohm Widerstände benötigt werden. Diese können dann bequem über Lüsterklemmen miteinander verschaltet werden, um entsprechende Gesamtwidestände zu erreichen (siehe Abbildung C2.02).

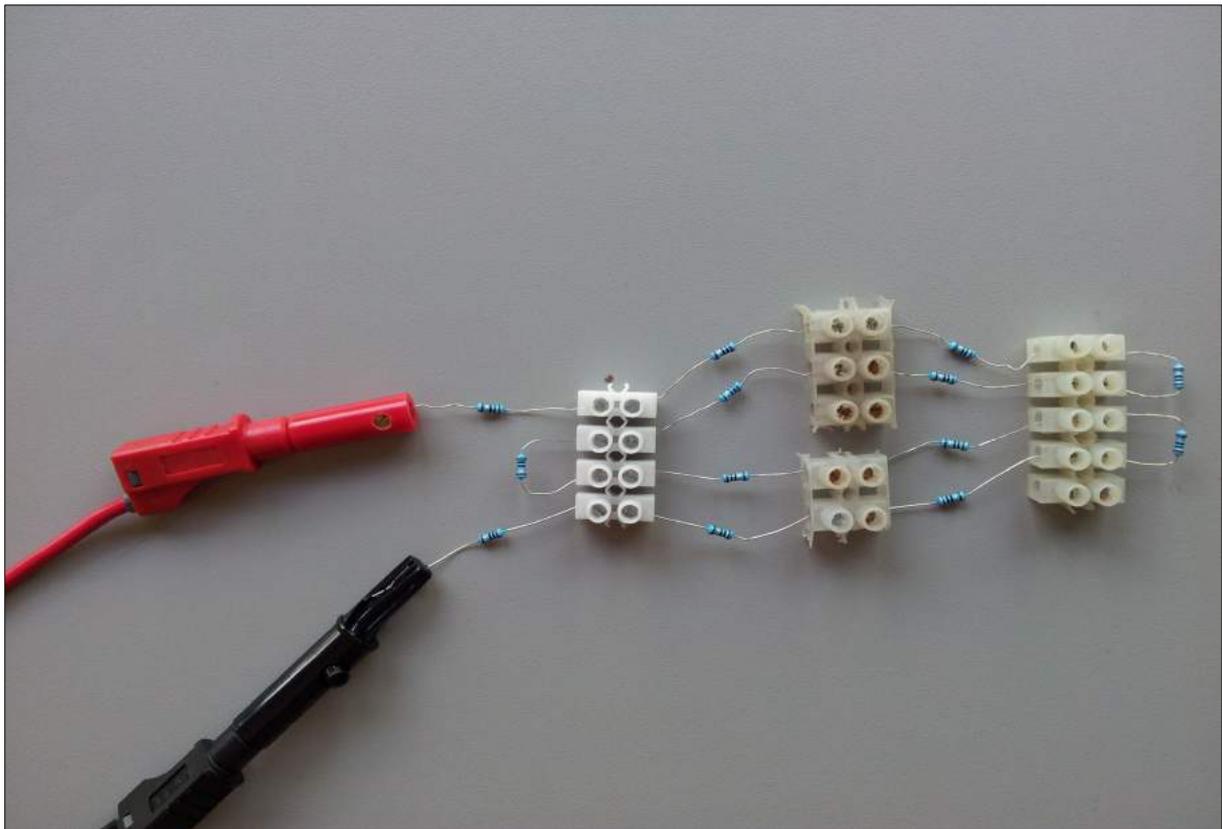


Abbildung C2.02 Die Abbildung zeigt die Verschaltung von Widerständen mit Hilfe von Lüsterklemmen, um unterschiedliche Werte von Gesamtwiderständen abgreifen zu können.

Alternativ kann ein regelbarer Widerstand (Potentiometer) verwendet werden, wobei dann die einstellbaren Widerstandswerte eventuell fest vorgegeben sind. Dadurch wird jedoch das eigenständige Experimentieren durch Vorgabe einer Messreihe eingeschränkt. Zudem ist es nicht immer möglich, die Widerstandswerte den unterschiedlichen Kenngrößen verschiedener Module anzupassen.

Vor dem erstmaligen Benutzen der Solarmodule können diese einmalig von den Schülerinnen und Schülern selbstständig verkabelt und mit den hier beschriebenen Steckern versehen werden. Bei späteren Versuchsreihen müssen die Anschlüsse gegebenenfalls noch einmal überprüft werden. Elektronische Bauteile wie die benötigten Widerstände, Stecker oder Leuchtdioden können in größeren Mengen kostengünstiger bezogen werden. Auch die hier verwendeten Solarmodule wurden in größeren Mengen günstiger angeboten.

Kenngößen

Solarmodule lassen sich über ihre **Leerlaufspannung** und den **Kurzschlussstrom** charakterisieren, die als Kenngößen bezeichnet werden (Mertens 2015). Bei den nachfolgend beschriebenen Versuchen wurden Solarmodule mit einer Leerlaufspannung von ca. 0,5 V und einem Kurzschlussstrom von ca. 850 mA verwendet. Beide Größen werden gemessen, indem das Voltmeter oder das Amperemeter direkt mit den Polen des Solarmoduls verbunden wird.

Die in Schülerübungen gemessenen Werte weichen jedoch zumeist von den Angaben ab. Ein Grund hierfür besteht darin, dass sich die Angaben auf ideale Bedingungen beziehen (Mertens 2015). Insbesondere ist die Beleuchtungsstärke oder die Strahlungsintensität entscheidend. Diese kann beispielsweise durch einen entsprechenden Neigungswinkel variiert werden, wie dies zum Beispiel auf einer optischen Bank oder mit Hilfe eines Stativs, wie in der Abbildung C2.03 gezeigt, zumindest qualitativ realisiert werden kann.

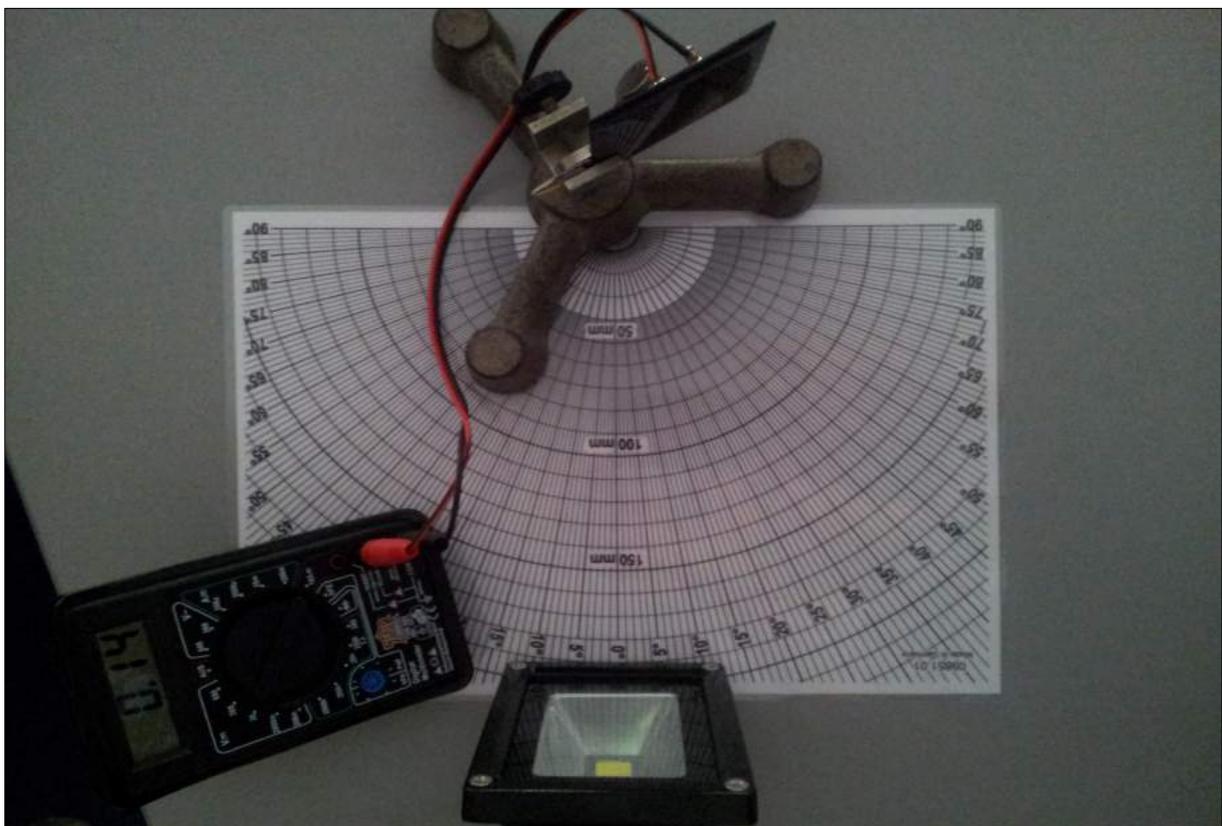


Abbildung C2.03 Die Abbildung zeigt einen Versuchsaufbau zur Messung des Drehwinkels ohne Benutzung einer optischen Bank.

In der Abbildung C2.04 sind bei einer geringen Lichteinstrahlung deutlich größere Änderungen der Spannung erkennbar, so dass eine nicht lineare Abhängigkeit vermutet werden kann. Hingegen deutet der Verlauf beim Kurzschlussstrom in Abbildung C2.04 eher auf eine (zumindest teilweise) lineare Abhängigkeit hin.

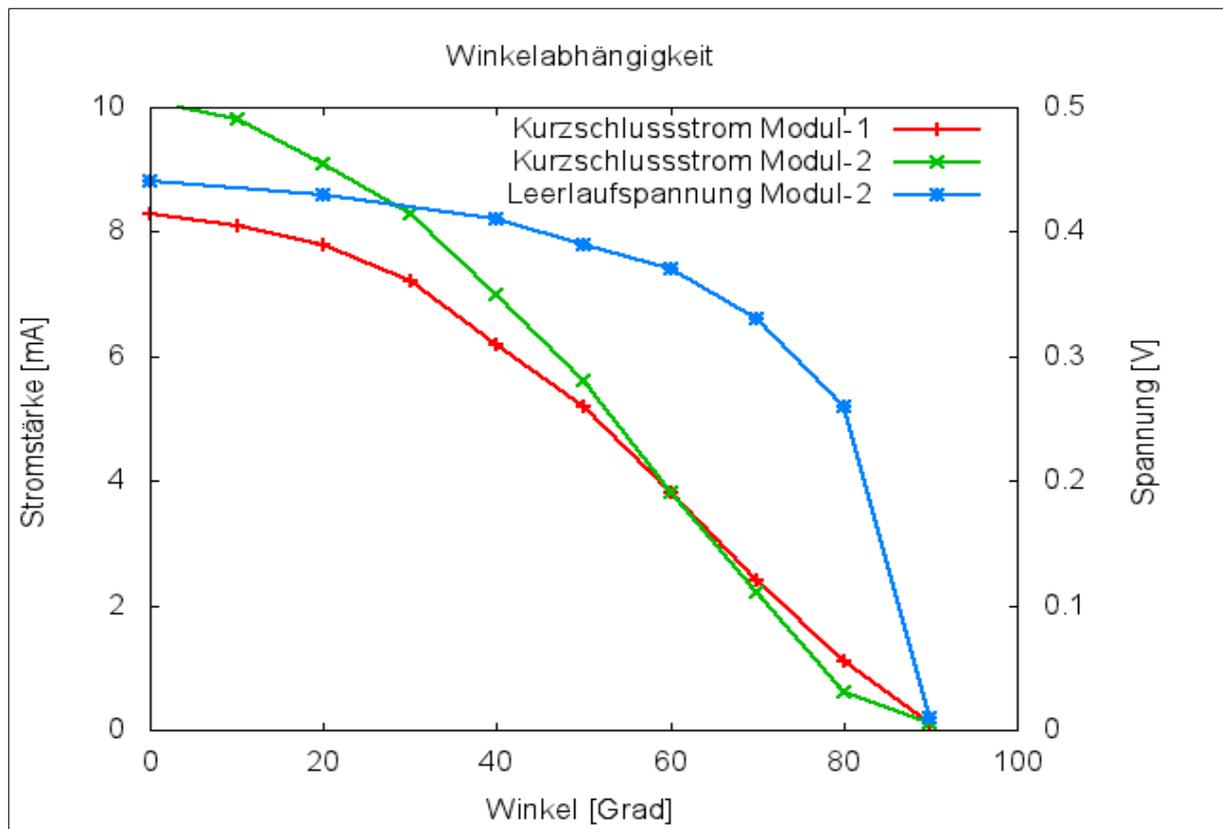


Abbildung C2.04 In der Abbildung sind die gemessenen Kurzschlussströme und Leerlaufspannungen für unterschiedliche Module winkelabhängig dargestellt.

Hinweis

Sowohl die Leerlaufspannung als auch der Kurzschlussstrom sind temperaturabhängig, so dass sich diese während der Messung verändern können.

Eine weitere wichtige Kenngröße ist der Wirkungsgrad η eines Solarmoduls. Da dieser als Quotient aus der maximal abgegebenen elektrischen Leistung P_{aus} dividiert durch die Leistung des einfallenden Sonnenlichts P_{ein} definiert ist, ist die Bestimmung im Schülerexperiment in der Regel schwierig, da die Energie (oder die Bestrahlungsstärke) des einfallenden Sonnenlichts gemessen werden müsste (TU Bergakademie Freiberg o.J.).

Um dennoch einen Bezug zu dieser Kenngröße in den Unterricht zu integrieren, können die bislang ermittelten Messdaten wie folgt ausgewertet werden:

Sowohl der bereits definierte Wirkungsgrad $\eta = \frac{P_{\text{aus}}}{P_{\text{ein}}}$, als auch die Strahlungsintensität $D = \frac{P_{\text{ein}}}{A_{\perp}}$ sind offensichtlich konstant, wobei sich D hier auf die senkrecht zur Strahlung-Richtung stehende Fläche A_{\perp} bezieht.

Wird die Normale der Fläche A des Solarmoduls entsprechend der oben beschriebenen Anordnung um einen Winkel α gegen die Strahlungsrichtung gedreht, so können sich die Schülerinnen und Schüler leicht den dabei zugrunde liegenden Zusammenhang $A_{\perp} = A \cdot \cos(\alpha)$ erschließen. Durch Umformen und Einsetzen dieser drei hier angegebenen Beziehungen ergibt sich dann entsprechend

$$P_{\text{aus}} = \eta \cdot D \cdot A \cdot \cos(\alpha) \propto \cos(\alpha)$$

$P_{\text{aus}} = \eta \cdot D \cdot A \cdot \cos(\alpha) \propto$ Dieser Zusammenhang kann nun durch die oben bereits erhaltenen Daten überprüft werden, indem zur Bestimmung von P_{aus} das Produkt der entsprechenden Werte für die Leerlaufspannung und den Kurzschlussstrom gebildet wird, was in der Abbildung C2.05 dargestellt ist.

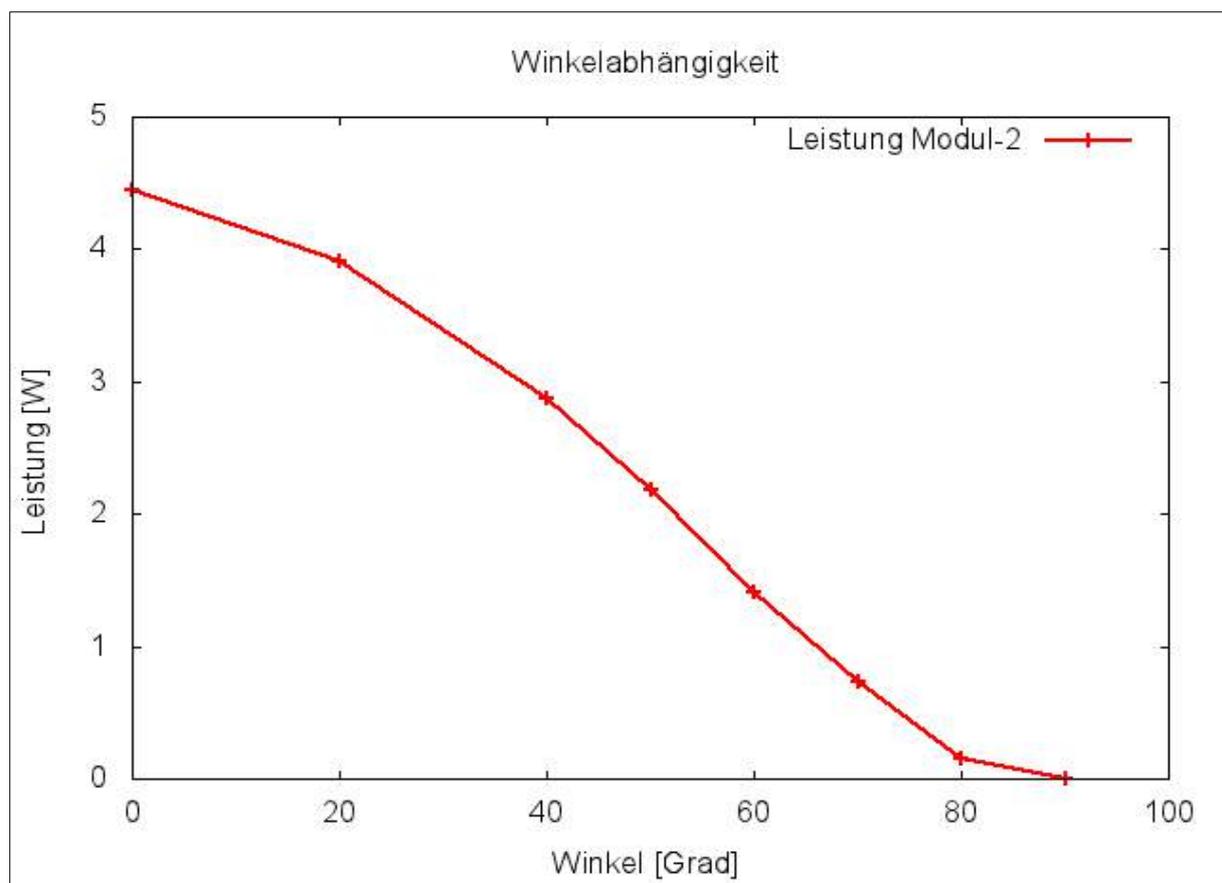


Abbildung C2.05 In der Abbildung ist die gemessene Leistung in Abhängigkeit vom Winkel dargestellt. Der mögliche Verlauf des Graphen einer Cosinus-Funktion ist hier durch geradliniges Verbinden der Messpunkte erkennbar.

Hinweis

Das Produkt aus den entsprechenden Werten von Kurzschlussstrom und Leerlaufspannung zur Berechnung von P_{aus} entspricht nicht exakt der maximal möglichen Leistung für den betrachteten Winkel. Es ergeben sich hier aber zunächst sinnvolle Näherungswerte. Dies wird in einem nachfolgenden Kapitel zur Leistungsmessung deutlich.

Schaltungen von Solarmodulen

Solarmodule lassen sich, wie auch andere Bauteile, in Reihe und auch parallel schalten (Stempel 2010). An dieser Stelle bietet sich der Vergleich mit herkömmlichen Batterien an, die wie Solarzellen Gleichspannungsquellen darstellen. Ein Unterschied besteht allerdings darin, dass für die Batterie als endlichem Energiespeicher kein Kurzschlussstrom angegeben wird. Demnach addieren sich bei der Reihenschaltung die Leerlaufspannungen, während sich bei der Parallelschaltung die Kurzschlussströme addieren (Stempel 2010). In den Schülerübungen bietet es sich an, diesen Zusammenhang selbstständig zu ermitteln, indem beispielsweise die bisher geringen Messwerte von Strom und Spannung angesprochen werden und eine Zusammenschaltung von Solarmodulen somit sinnvoll erscheint. Um mögliche Hypothesen zu testen, kann dann eine wachsende Anzahl von Modulen verschaltet werden.

Die Abbildungen C2.06 und C2.07 zeigen exemplarisch die Reihen- bzw. die Parallelschaltung von drei Solarmodulen, wobei bei der Parallelschaltung die gleichen Pole miteinander verbunden werden.

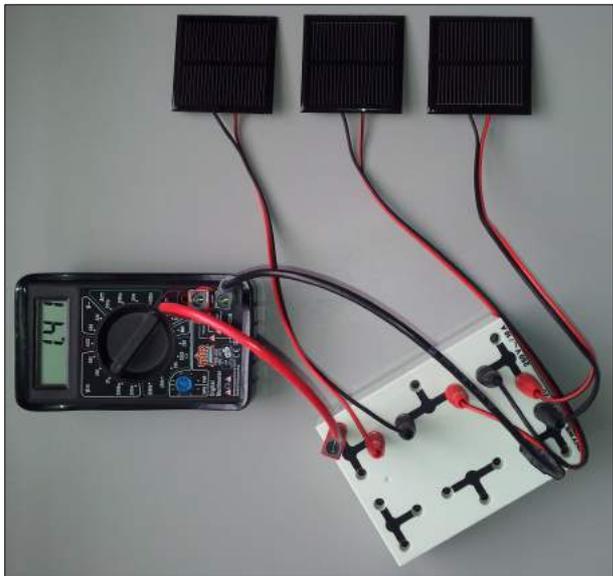


Abbildung C2.06 Die Abbildung zeigt den Versuchsaufbau einer **Reihenschaltung** von drei nahezu baugleichen Solarmodulen.

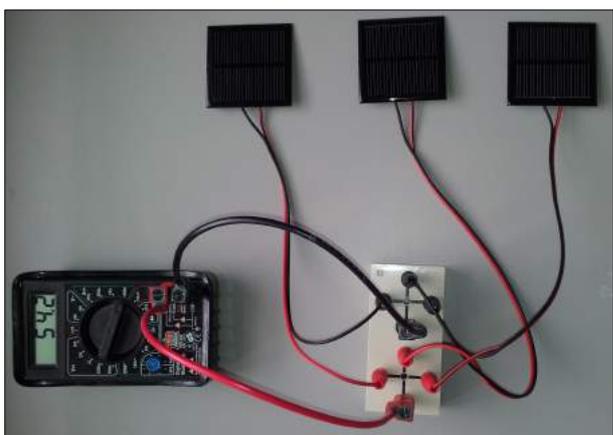


Abbildung C2.07 Die Abbildung zeigt den Versuchsaufbau einer **Parallelschaltung** von drei nahezu baugleichen Solarmodulen.

Eine interessante Anwendung besteht dann beispielsweise darin, jeweils verschiedene Leuchtdioden als Verbraucher in die Schaltung zu integrieren. Dabei kann erkannt werden, dass sowohl eine ausreichende Anzahl an Solarmodulen als auch eine ausreichende Beleuchtungsstärke erforderlich sind, wie die Abbildungen C2.08 und C2.09 sowie die Abbildungen C2.10 und C2.11 dokumentieren, in denen derselbe Versuchsaufbau zugrunde liegt.

Abschließend könnte beispielsweise auch die folgende Erkenntnis formuliert werden: Um die Nennspannung und Nennleistung eines Verbrauchers (hier der Leuchtdiode) zu erreichen, werden zunächst so viele Solarzellen in Reihe geschaltet, bis die benötigte Spannung erreicht wird. Bis die benötigte Stromstärke erreicht ist, können mehrere solcher Reihen parallel geschaltet werden.

Für Anwendungen auf Dachflächen wird eine unterschiedliche Anzahl von Solarmodulen verschaltet (Stempel 2010). Die Verschaltung von Solarmodulen ist eine Kombination aus Reihen- und Parallelschaltung: Eine Reihenschaltung ist erforderlich, um eine ausreichende Spannung zu erreichen. Hingegen ermöglicht die Parallelschaltung, dass bei einer Verschattung einzelner Solarmodule immer noch Strom fließen kann, wobei sich dann allerdings die Gesamtstromstärke verringert.

Hinweis

An dieser Stelle bietet sich ein Rückgriff auf den Aufbau einer Leuchtdiode an, die ebenfalls ein Halbleiterelement ist und deren Funktionsprinzip dem der Diode angelehnt ist. Insbesondere spiegelt die hier beobachtete Durchlassspannung die entsprechende Energiedifferenz der Bandlücke wider, welche das Halbleitermaterial charakterisiert und die unterschiedlichen Farben hervorruft.

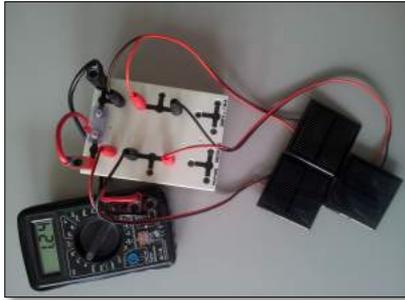


Abbildung C2.08 Die Abbildung zeigt den Spannungsabfall an einer roten Leuchtdiode, der jedoch nicht ausreicht, um die Leuchtdiode zum Leuchten zu bringen.

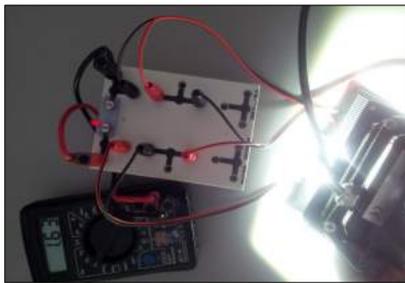


Abbildung C2.09 Die Abbildung zeigt denselben Versuchsaufbau wie in Abbildung C2.08, wobei jedoch die Bestrahlungsstärke mit Hilfe des 10 W-Strahlers erhöht wurde, so dass die Leuchtdiode zu leuchten beginnt.

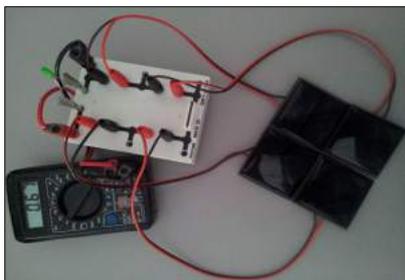


Abbildung C2.10 Die Abbildung zeigt den Spannungsabfall an einer grünen Leuchtdiode, der jedoch nicht ausreicht, um die Leuchtdiode zum Leuchten zu bringen.

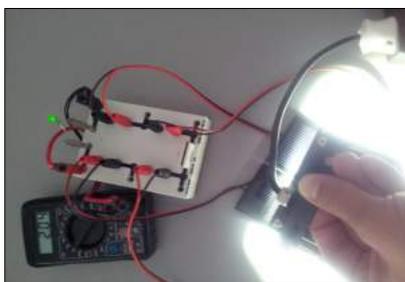


Abbildung C2.11 Die Abbildung zeigt denselben Versuchsaufbau wie in Abbildung C2.10, wobei jedoch die Bestrahlungsstärke mit Hilfe des 10 W-Strahlers erhöht wurde, so dass die Leuchtdiode zu leuchten beginnt.

Leistungsmessung bei Solarmodulen

Die Leerlaufspannung und der Kurzschlussstrom charakterisieren ein Solarmodul ohne angeschlossenen Verbraucher. Darüber hinaus ist es aber entscheidend zu wissen, wie effizient ein Solarmodul arbeitet, d.h. wie viel Energie letztendlich gewonnen werden kann. Zur Ermittlung der dafür erforderlichen Strom-Spannungs-Kennlinie wird ein Verbraucher in der Regel über einen veränderbaren Lastwiderstand dargestellt. Wie bei der Bestimmung der Kenngrößen ist auch die Leistungsmessung bei einem angeschlossenen Verbraucher abhängig von Faktoren wie der Bestrahlungsstärke oder der Temperatur.

In den Schülerversuchen kann wahlweise ein geeignetes Potentiometer oder aber verschiedene Widerstände eingesetzt werden, wie dies im Abschnitt zu den Materialien bereits beschrieben wurde. Die zuletzt genannte Möglichkeit ist sicherlich aufwendiger, bietet aber den Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit, selbst zu erkennen, welche Bereiche der Kennlinie sie ausmessen sollen. Die Abbildungen C2.12 und C2.13 zeigen die Strom-Spannungs-Kennlinien (rot) von zwei baugleichen Solarmodulen bei nahezu konstanter Beleuchtung und Temperatur.

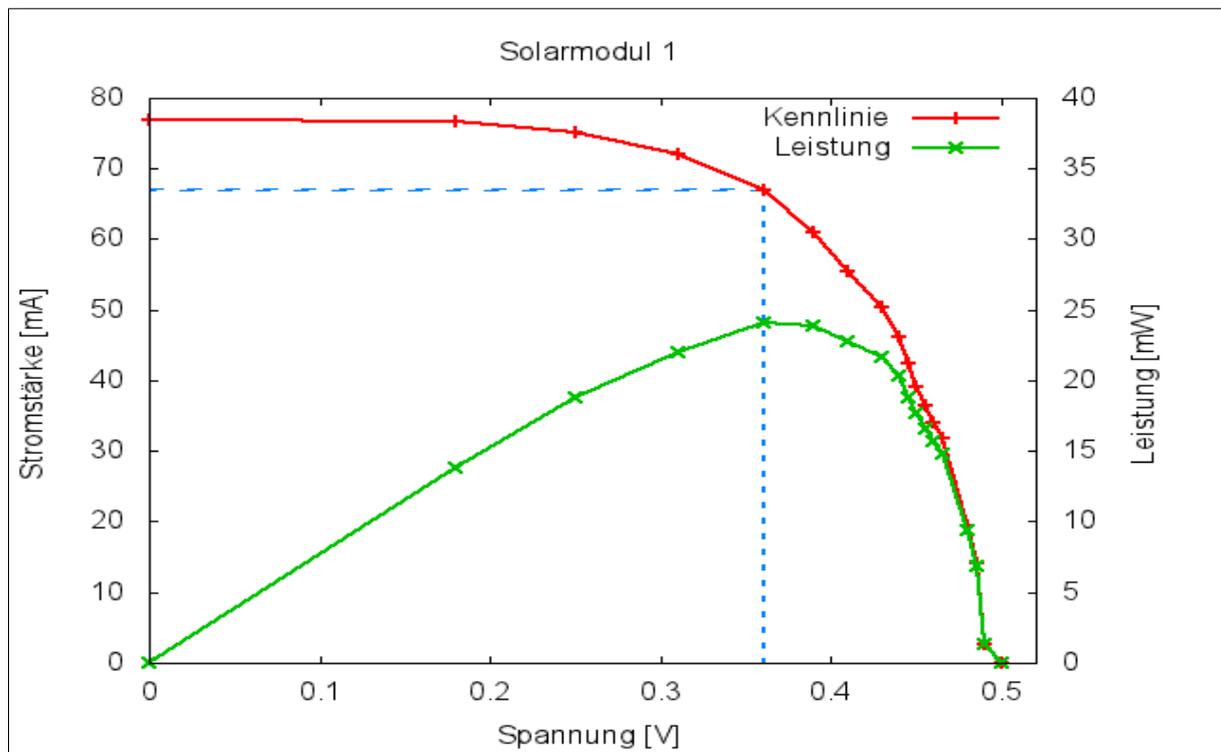


Abbildung C2.12 Messung der Strom-Spannungs-Kennlinie und der Leistungskurve für ein Solarmodul bei möglichst konstanter Beleuchtungsstärke und Temperatur. Die Bestimmung des Maximum Power Point (MPP) ist durch ein gestricheltes Rechteck dargestellt.

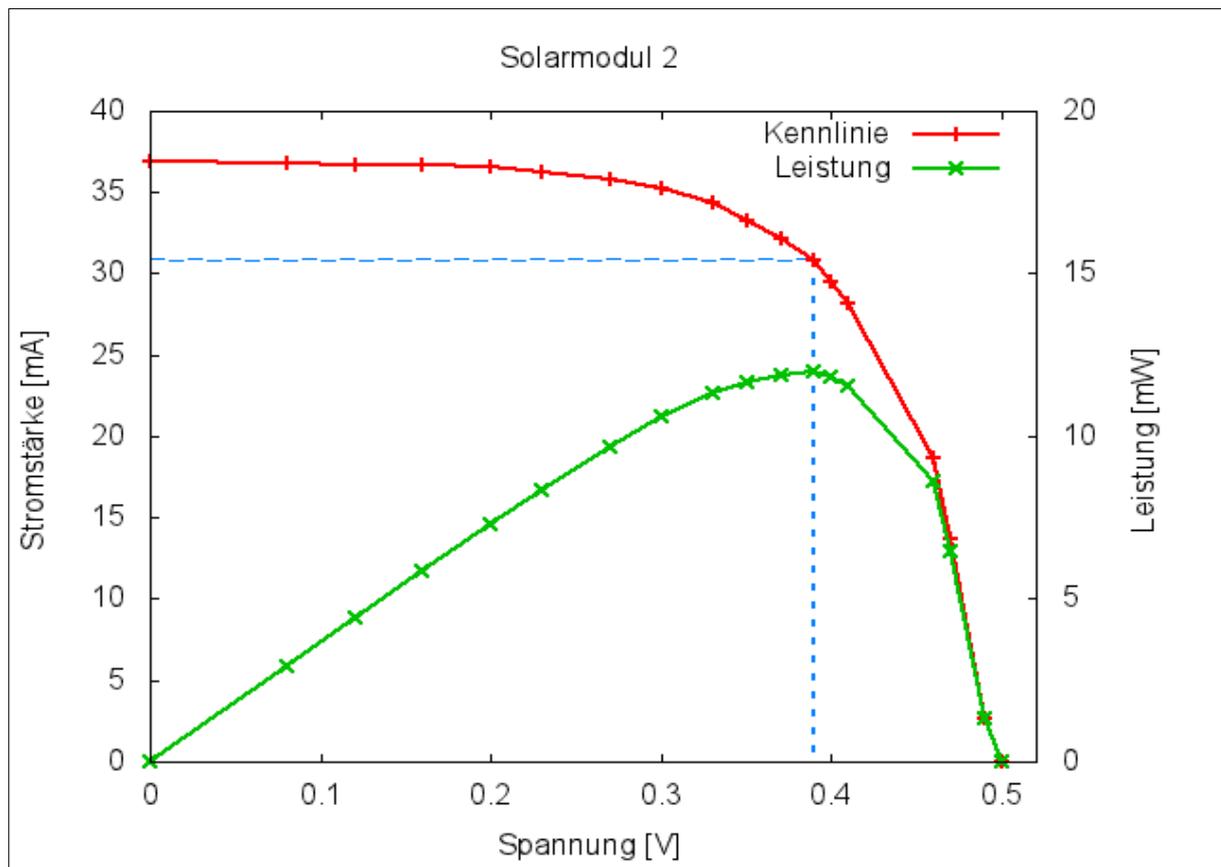


Abbildung C2.13 Messung der Strom-Spannungs-Kennlinie und der Leistungskurve für ein Solarmodul derselben Baureihe wie in Abbildung C2.12 bei einer möglichst konstanten Beleuchtungsstärke und Temperatur. Die Bestimmung des Maximum Power Point (MPP) ist durch ein gestricheltes Rechteck dargestellt.

Die Leistung, die einem Solarmodul entnommen werden kann, ist das Produkt aus der jeweiligen Stromstärke und Spannung, die am Verbraucher anliegt. In den Abbildungen C2.12 und C2.13 sind auch diese Werte als Kurven (grün) dargestellt. Hierbei wird deutlich, dass jede Leistungskurve nach einem Anstieg und einem anschließenden Abfall ein eindeutiges Maximum annimmt. Dieser Punkt der maximalen Leistung wird als optimaler Betriebspunkt oder Maximum Power Point (MPP) bezeichnet. Da sich die Lage dieses Punktes aufgrund verändernder Faktoren wie der Beleuchtungsstärke und Temperatur verschiebt, wird bei einem wirtschaftlich genutzten Solarmodul in der Regel das Maximal-Leistungspunkt-Suche-Verfahren (MPP-Tracking) angewendet, um dem Solarmodul immer die maximale Leistung entnehmen zu können.

Hinweis

In der Abbildung C2.14 sind noch einmal ausgewählte Messwerte zur Ermittlung der Kennlinien und Leistungskurven dargestellt und durch die Schaltskizze für den entsprechenden Messaufbau ergänzt. Obgleich die Versuchsbedingungen (insbesondere die Beleuchtungsstärke) für die beiden Solarmodule möglichst nicht verändert wurden, fällt auf, dass die Messreihen der beiden Solarmodule mit Bezug zum selben Widerstand unterschiedlich sind. Insbesondere erreicht ein Solarmodul den MPP bereits bei 4 Ohm mit einem Wert von 24,12 mW. Zudem wird deutlich, dass der anfängliche Bereich der Kennlinie zunächst im Abstand von einem Ohm durchgemessen werden sollte. Nach Erreichen des MPP kann es dann im Hinblick auf die Effizienz des Messprozesses sinnvoll sein, die Abstände zwischen den verschiedenen Widerstandswerten zu erhöhen, wie dies ebenfalls am Ende der Tabelle in der Abbildung C2.14 zu erkennen ist.

Verbraucher	Solarmodul1			Solarmodul 2		
	R [Ohm]	I [mA]	U [V]	P [mW]	I [mA]	U [V]
0	77,0	0,00	0,00	36,9	0,00	0,00
1	76,6	0,18	13,79	36,8	0,08	2,94
2	75,1	0,25	18,78	36,7	0,12	4,40
3	72,0	0,31	22,32	36,7	0,16	5,87
4	67,0	0,36	24,12	36,6	0,20	7,32
5	61,1	0,39	23,83	36,2	0,23	8,33
6	55,4	0,41	22,71	35,8	0,27	9,67
...
33	14,1	0,49	6,91	13,70	0,47	6,44
180	2,7	0,49	1,32	2,70	0,49	1,32

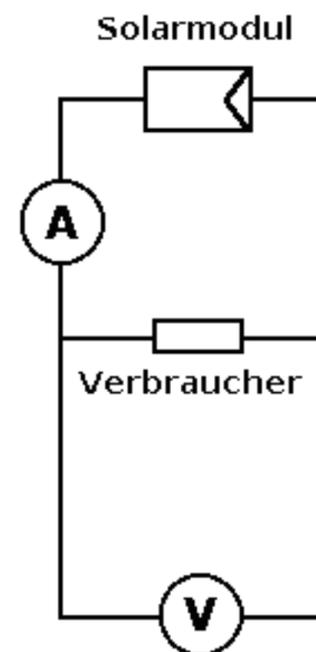


Abbildung C2.14 Die Abbildung stellt ausgewählte Messwerte zur Bestimmung der Kennlinien und Leistungskurven aus den Abbildungen C2.12 und C2.13 in Abhängigkeit vom verwendeten Widerstand (Verbraucher) dar, wobei auch die zugehörige Schaltung schematisch abgebildet ist. Dabei wird der Widerstand R in Ohm, die Stromstärke I in mA, die Spannung U in V und die daraus berechnete Leistung P in mW angegeben.

Um die Abhängigkeit der ermittelten Leistung von der Lichtintensität zu verdeutlichen, können entsprechende Messungen mit und ohne künstliche Lichtquelle (nur Tageslicht) durchgeführt und entsprechend den Darstellungen in den Abbildungen C2.12 und C2.13 miteinander verglichen werden.

Abschließend kann der Füllfaktor als ein mögliches Maß für die Güte des Solarmoduls bestimmt werden. Dieser berechnet sich als Quotient aus dem Wert der Leistung am MPP und dem Produkt aus Leerlaufspannung und Kurzschlussstrom und ist somit ein dimensionsloses Maß, welches einen Wert kleiner als eins besitzt. Je kleiner der Wert des Füllfaktors ist, desto geringer ist auch der Wirkungsgrad eines Solarmoduls. Der Füllfaktor sollte zumindest 0,5 betragen, während effiziente Solarmodule einen Wert von über 0,8 erreichen. Die ideale Solarzelle wäre somit eine Energiequelle mit konstanter Stromstärke, bis die Leerlaufspannung erreicht ist, und ihre Kennlinie würde entsprechend einem Rechteck mit maximalen Flächeninhalt verlaufen.

Arbeitsblatt zu Experimenten mit Solarmodulen

Vorbereitende Aufgabe

Recherchiere die Funktionsweise einer Solarzelle und den Begriff des Solarmoduls. Mach dich mit entsprechenden Schaltzeichen sowie der Strom- und Spannungsmessung vertraut.

Aufgaben zu Kenngrößen von Solarmodulen

1. Schließe das Solarmodul an ein digitales Messgerät an und ermittle einen möglichen Strom- und Spannungswert. Benenne einen Faktor, der Einfluss auf deine Messergebnisse hat.
2. Zu den Solarmodulen gibt es eine Strom- und eine Spannungsangabe, die du ggf. auch auf der Rückseite des Solarmoduls abgedruckt findest. Vergleiche diese Angaben mit den von dir gemessenen Werten und diskutiere Gründe für Abweichungen.
3. Miss sowohl Strom- als auch Spannungswerte in Abhängigkeit vom Einstrahlwinkel (0° bis 90° in Schritten von 10°) der Lichtquelle und stelle deine Ergebnisse als Kurvenverlauf graphisch dar.
4. Leite zunächst den Zusammenhang $A_{\perp} = A \cdot \cos(\alpha)$ her und verifiziere experimentell die Gleichung $P_{\text{aus}} = \eta \cdot D \cdot A \cdot \cos(\alpha) \propto \cos(\alpha)$, indem du das Produkt aus den gemessenen Strom- und Spannungswerten graphisch darstellst.

Aufgaben zu Schaltungen von Solarmodulen

1. Ermittle experimentell eine Gesetzmäßigkeit für die Reihen- und Parallelschaltung von Solarmodulen.
2. Erstelle Schaltskizzen mit jeweils so vielen Solarzellen, dass je eine rote und eine grüne Leuchtdiode zu leuchten beginnt, wobei du die Beleuchtungsstärke berücksichtigen solltest.
3. Weiterführende Aufgabe: Begründe, warum Leuchtdioden verschiedener Farben erst bei unterschiedlichen Spannungen (Durchlassspannungen) zu leuchten beginnen.
4. Weiterführende Aufgabe: Recherchiere, wie viele Solarzellen üblicherweise bei der Herstellung eines Solarmoduls für Dachflächen verwendet und wie diese geschaltet werden. Welche möglichen Probleme sollten bei der Verschaltung mehrerer Solarmodule berücksichtigt werden?

Aufgaben zur Leistungsmessung bei Solarmodulen

1. Erstelle die Strom-Spannungs-Kennlinie eines Solarmoduls, indem du für verschiedene Widerstandswerte den Strom und die Spannung misst.
2. Stelle die Strom-Spannungs-Kennlinie zusammen mit der Leistungskurve dar und beurteile die Charakteristik der Leistungskurve im Hinblick auf Energieeffizienz.
3. Weiterführende Aufgabe: Schätze bzw. diskutiere die Gewinnung von Solarenergie für die Stadt Berlin, indem du verschiedene Angaben und Annahmen zugrunde legst.

C. ERNEUERBARE ENERGIEN

C3. Von der Solarernte zur Energieversorgung der Zukunft

Autorinnen und Autoren

Wolfgang Schäfer – Kurfürst Balduin Gymnasium, Münstermaifeld

Dr. Sebastian Schlund – Kurfürst Balduin Gymnasium, Münstermaifeld

Von der Solarenergie zur Energieversorgung der Zukunft

Didaktisch-methodische Hinweise für die Lehrkraft

Die vorliegenden Arbeitsblätter können sowohl begleitend zur Ausstellung ENERGY IN MOTION als auch losgelöst davon bearbeitet werden und richten sich an Schülerinnen und Schüler der Jahrgangsstufen 9 bis 11. Es sind dabei Arbeitsaufträge unterschiedlicher Schwierigkeitsstufen vorhanden, welche sich je nach Lerngruppe durchaus auch offener gestalten lassen. Es empfiehlt sich, die Arbeitsblätter sequentiell in Schülergruppen bearbeiten zu lassen, da sich vereinzelt Aufgaben auf vorherige Ergebnisse beziehen (siehe Arbeitsblatt 4).

Aus didaktischen Gründen ist in den vorliegenden Informationen von „alten“ und „neuen“ Energien die Rede, um hervorzuheben, dass mit der in Deutschland beschlossenen Energiewende auch eine grundlegende Änderung der „Energieerzeugung“ einhergeht. Daher kann es je nach Wissensstand der Schülerinnen und Schüler notwendig sein, die unterschiedlichen Begriffe zu diskutieren und in der physikalischen Fachsprache zu schärfen. Besonders die unterschiedliche Bedeutung von Energiespeichern und Energieträgern lässt sich am Beispiel fossiler Brennstoffe gut diskutieren.

Die zugrundeliegenden Informationen zu den Speicherarten (C3.09 bis C3.11) sind im Wesentlichen deckungsgleich zu den gegebenen Informationen an der Themeninsel 5 „Zukunft der Energieversorgung“. Die Werte der Abschätzungen der Potentiale der Solarenergie sind Ergebnisse von Schülergruppen des Kurfürst-Balduin-Gymnasiums, erarbeitet in Projektwochen der Jahrgangsstufen 11.

Informationen für Schülerinnen und Schüler

- Wie kann eine nachhaltige und ausreichende Energieversorgung in der Zukunft gelingen?
- Warum sind Energiespeicher der Schlüssel zur Energiewende und welche Konzepte sind vielversprechend?
- Ist eine Gestaltung des gesamten Individualverkehrs (PKWs) ohne fossile Brennstoffe (Benzin, Diesel, Erdgas) überhaupt möglich?

Diese und andere wichtige Fragen sollst du dir in Gruppenarbeit durch die gegebenen Informationen selbst erarbeiten und beantworten. Bezüglich der Erneuerbaren Energien beschränken wir uns im Folgenden nach einer Einführung und einem Überblick zur Thematik auf die Aspekte Solarmodul- und Windkraftwerke – Rinnenkraftwerke wären zwar in sehr sonnenreichen Regionen auch möglich, doch soll hier die Beschränkung auf die oben genannten genügen (Arbeitsblatt 1).

Mit Hilfe des Arbeitsblatts 2 sollst Du dann die „Sonnenenergieerntemengen“ bezogen auf konkrete Flächen abschätzen und anschließend Konzepte zur Speicherung der „geernteten Energiemengen“ vergleichen und bewerten (Arbeitsblatt 3).

Zuletzt sollst du mit Hilfe der gewonnenen Erkenntnisse abschätzen, ob die Brennstoffzellentechnologie eine Lösung für die Problematik der Individualmobilität in der Zukunft darstellt (Arbeitsblatt 4) und ob die in Deutschland aktuell zurückgelegten PKW-Kilometer auch mit gespeicherter Sonnenenergie zurückgelegt werden können.

Information 1 – Vergleich „alte“ und „neue“ Energien

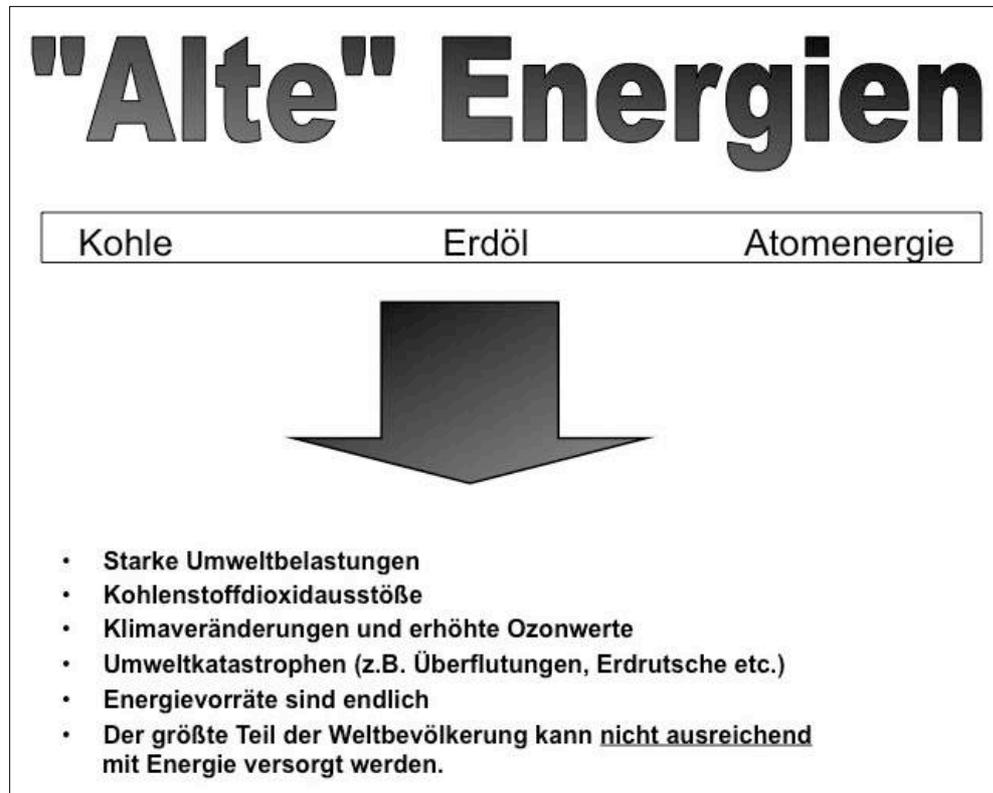


Abbildung C3.01 „Alte“ Energien

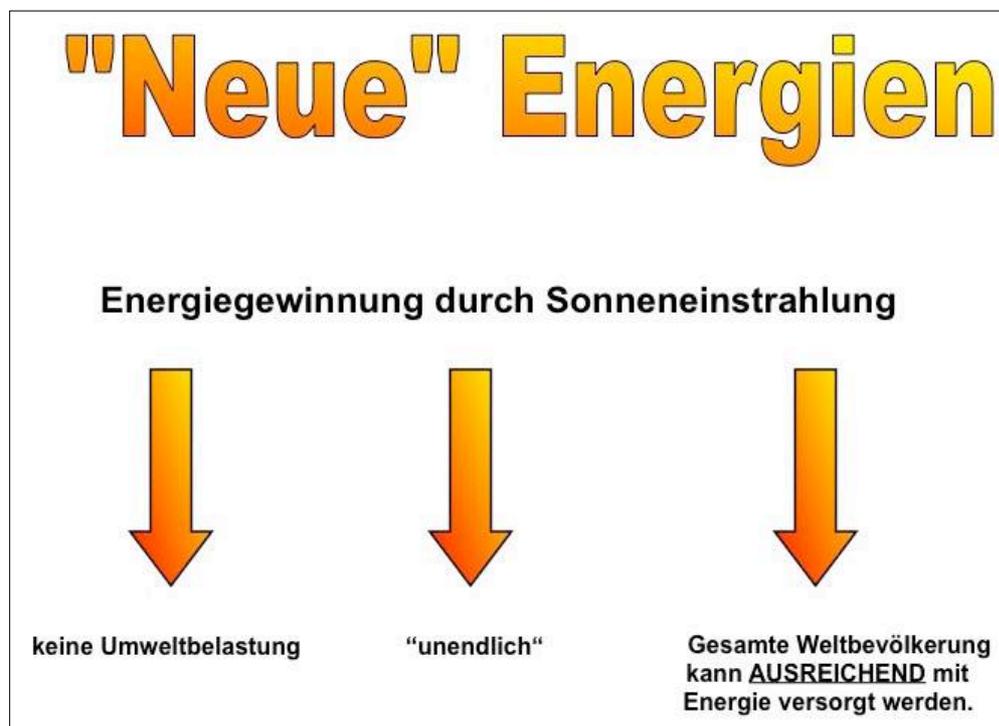


Abbildung C3.02 „Neue“ Energien

Information 2 – Sonnenenergiewürfel

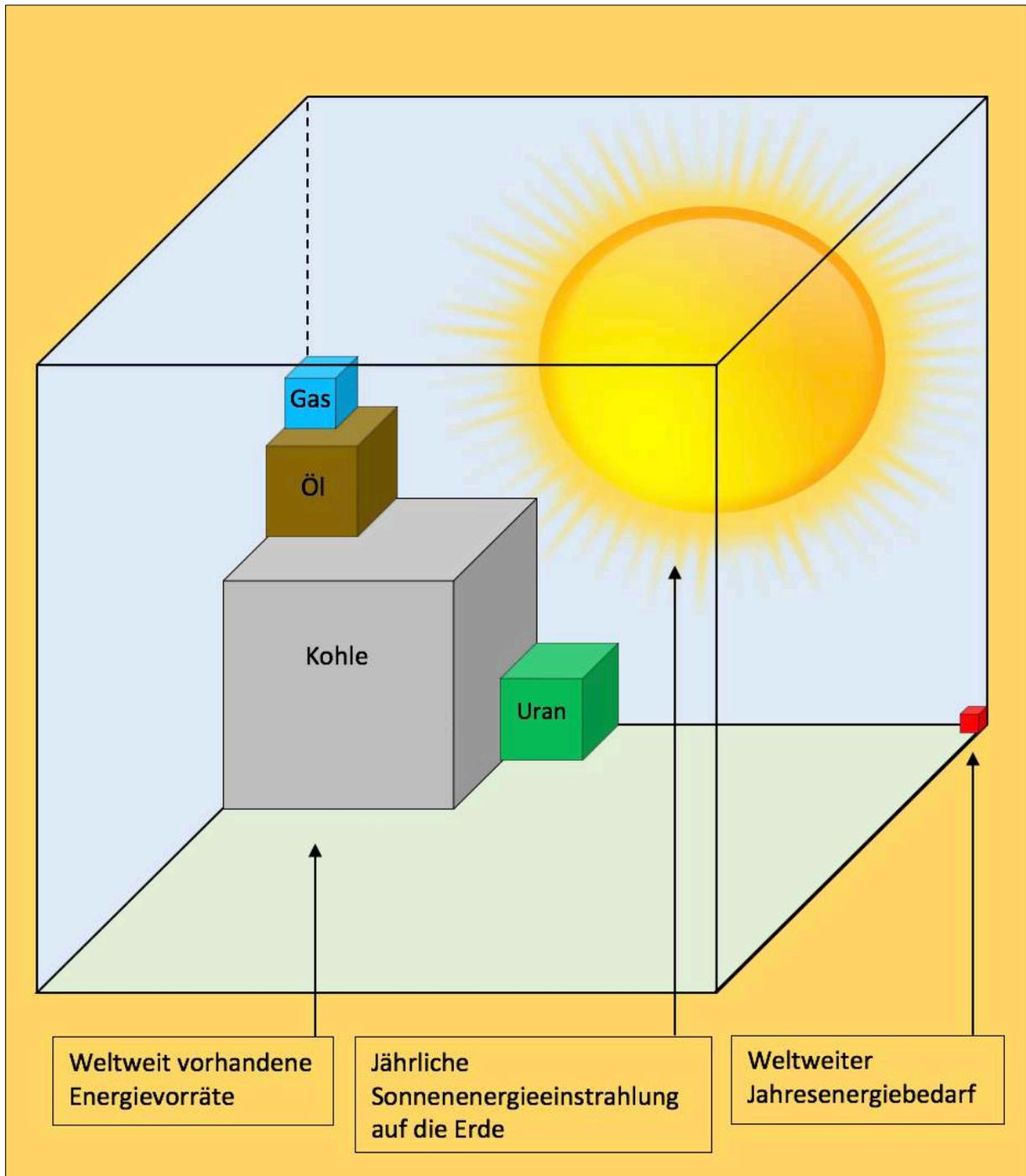


Abbildung C3.03 Der Sonnenenergiewürfel

Der Sonnenenergiewürfel zeigt deutlich, wie wenig wir von der jährlich von der Sonne eingestrahlten Energiemenge ernten müssen, um den Weltenergiebedarf zu decken.

Information 3 – Solarernte

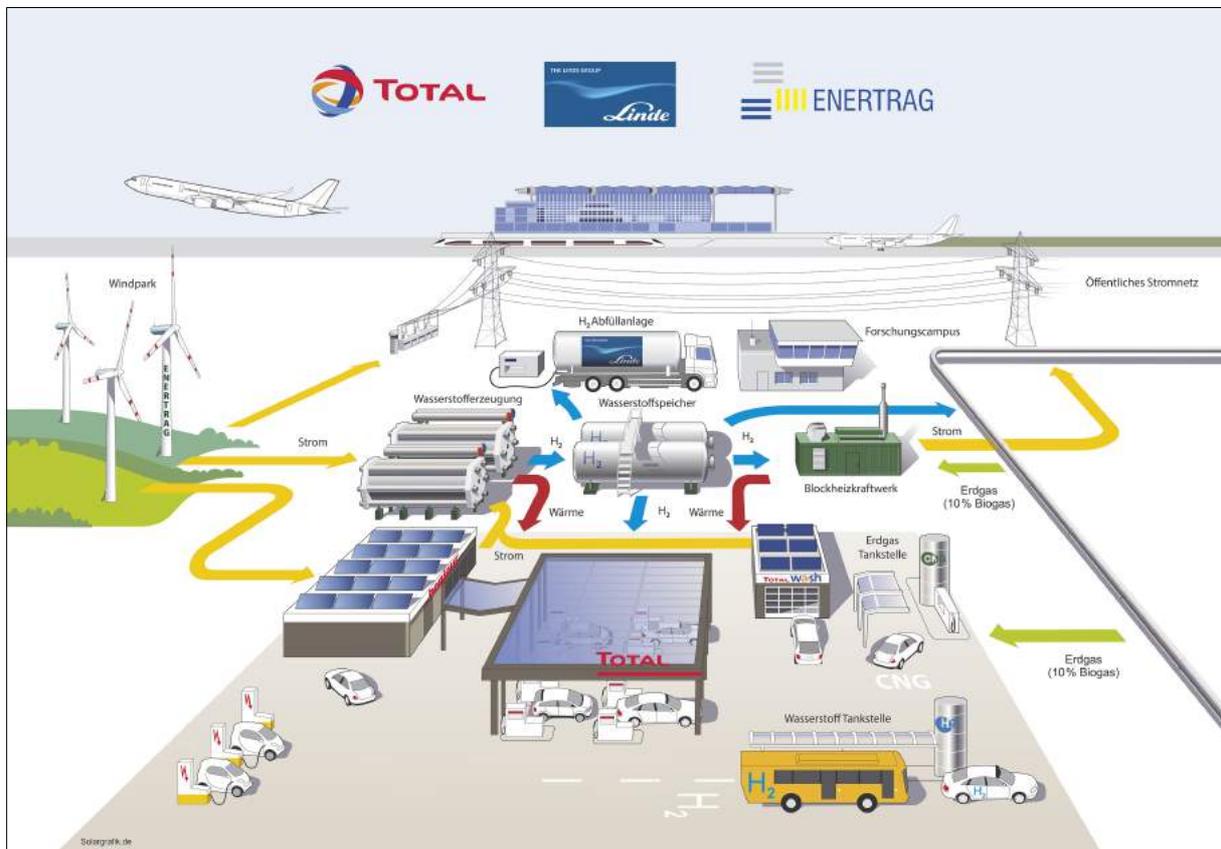


Abbildung C3.04 Vom Windrad zur Wasserstofftankstelle (Beispiel: TOTAL Tankstelle am Flughafen BER)

Information 4



Abbildung C3.05 Moderne Windkraftanlage mit 7,5 MW Leistung

Jahresertrag: 5.400 Haushalte bzw. $18,8 \cdot 10^6$ kWh

Standort: Hunsrück (RLP)

Information 5



Abbildung C3.06 Solarmodulanlage in Rheinland-Pfalz

Jahresertrag: 1.600 Haushalte bzw. $5,6 \cdot 10^6$ kWh, 56.300 m²

Standort: Wörrstadt (RLP)

Jahresertrag: 7.300 kWh, 60 m²

Standort: Münstermaifeld (RLP)

Information 6 – Windkarte Deutschland

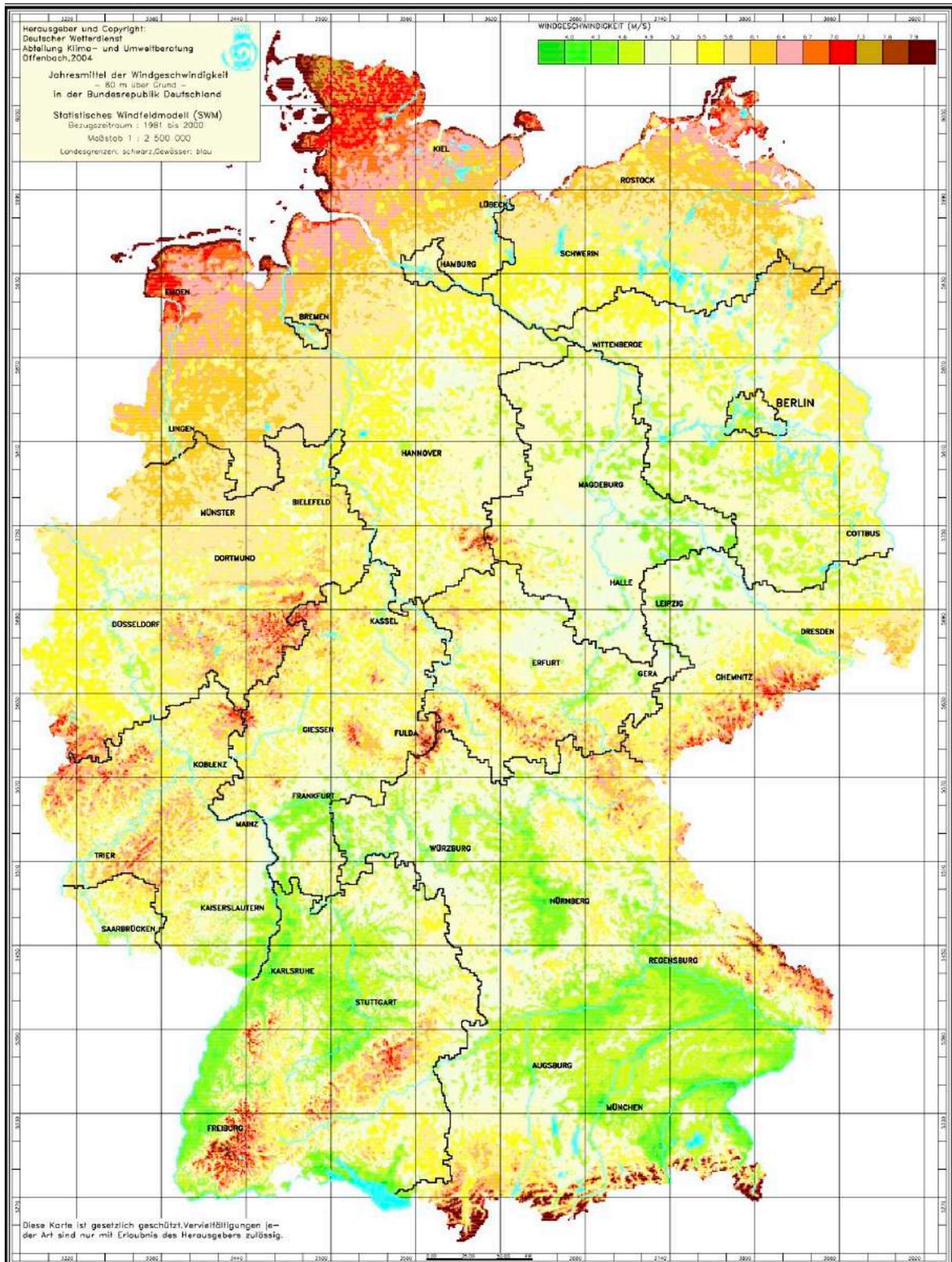


Abbildung C3.07 Windkarte mit Windgeschwindigkeiten in Jahresmittel (80 m über Grund)

Die Karte ist als Kopiervorlage auf der Internetseite des DWD erhältlich. Der Link befindet sich im Abbildungsverzeichnis.

Information 7– Solareinstrahlung Deutschland

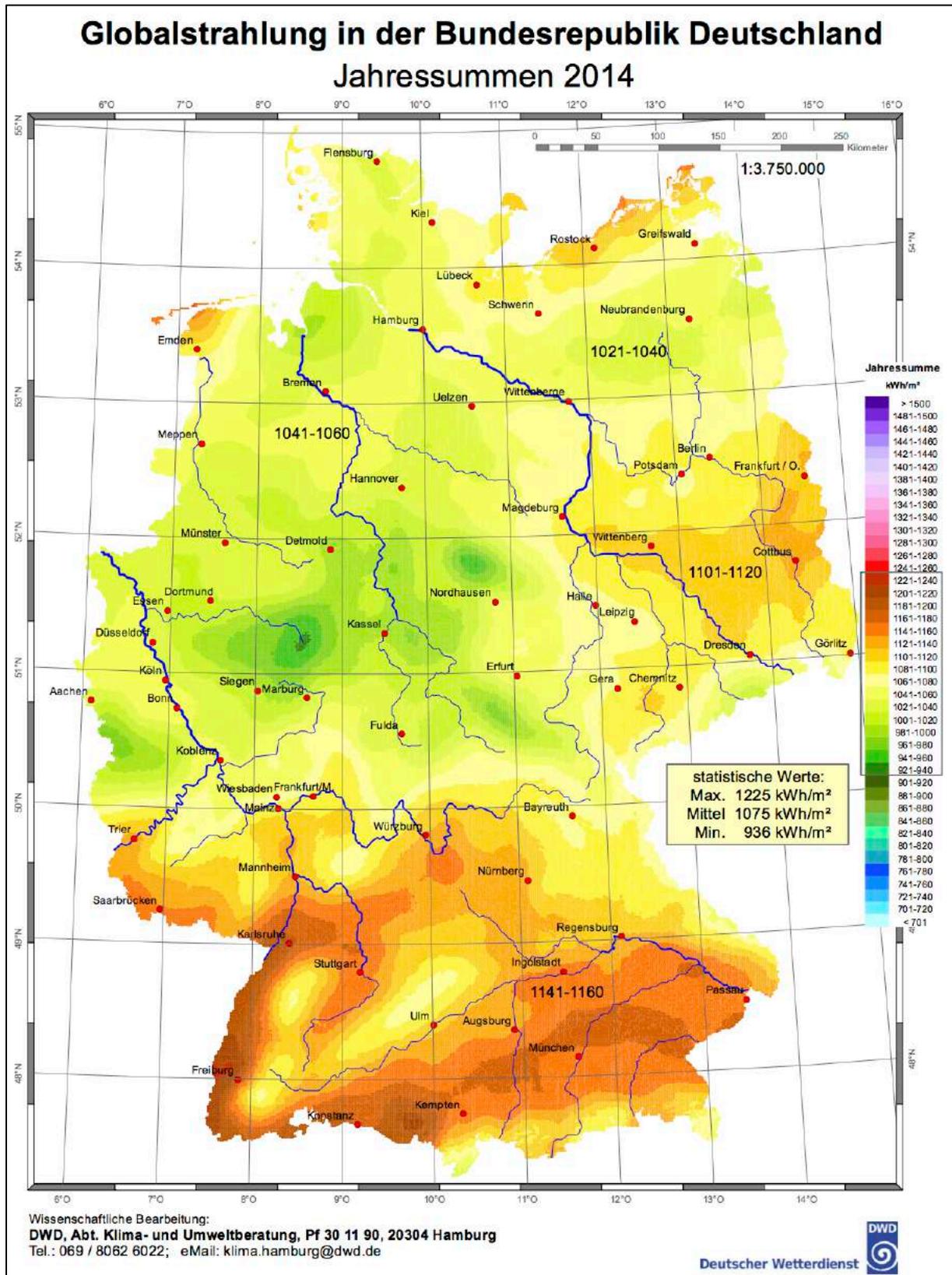


Abbildung C3.08 Globalstrahlungskarte mit Jahressummen (Jahr 2014)

Die Karte ist als Kopiervorlage auf der Internetseite des DWD erhältlich. Der Link befindet sich im Abbildungsverzeichnis.

Information 8 – Definition Energiespeicher

Was sind Energiespeicher?

Definition

Ein Energiespeicher ist eine energietechnische Einrichtung, welche die drei folgenden Prozesse beinhaltet: *Einspeichern* (Laden), *Speichern* und *Ausspeichern* (Entladen).

Primäre Energiespeicher werden nur einmal geladen und entladen (z.B. fossile Brennstoffe, Batterien).

Sekundäre Energiespeicher können mehrfach geladen und entladen werden (z.B. Akkus, Pumpspeicherkraftwerke).

Klassifizierung

nach Speicherform

Elektrische Speicher (Kondensatoren)
Elektrochemische Speicher (Akkumulatoren)
Mechanische Speicher (Lagespeicher, Schwungspeicher)
Thermische Speicher (Wärmespeicher)
Chemische Speicher (Brennstoffe)

nach Speicherdauer

Kurzzeitspeicher
 Sekundenspeicher
 Minutenspeicher
 Stundenspeicher
 Tagesspeicher
 Langzeitspeicher
 Wochenspeicher
 Monatsspeicher
 Saisonalspeicher

nach räumlichen Aspekten

Zentrale Speicher
 Dezentrale Speicher
 Ortsfeste Speicher
 Mobile Speicher

Warum braucht man Energiespeicher?

Bedarf

Wir benötigen Energie in Form von Wärme, als elektrische Energie und für unsere Mobilität. Daher muss Energie zu jeder Zeit und im Falle des Individualverkehrs auch an jedem Ort zur Verfügung stehen. Um dies zu gewährleisten, benötigt man Energiespeicher, welche dann ausgespeichert werden können, wenn Bedarf besteht.

Situation früher

In der Vergangenheit haben wir vor allem chemische Energiespeicher genutzt, welche durch natürliche Prozesse entstanden sind. Das sind zum einen die regenerativen Brennstoffe aus Biomasse (z.B. Holz) sowie die fossilen Brennstoffe (Kohle, Erdgas, Erdöl).

Blick in die Zukunft

In der Zukunft werden Erneuerbare Energien aus Windkraft und Solaranlagen eine immer wichtigere Rolle spielen. Hierbei wird die Energie meist in Form von elektrischer Energie geerntet. Da jedoch aufgrund fluktuierender Windgeschwindigkeiten und Tag-Nacht-Wechsel die Gewinnung dieser regenerativen Energien z.T. starken Schwankungen unterliegt, benötigt man bedarfsgerechte Energiespeicher, um bei Überschuss Strom einspeichern und bei Bedarf wieder ausspeichern zu können.

Worin unterscheiden sich Energiespeicher?

Speicherkapazität

Dieser Wert gibt an, wie viel Energie der Speicher, wenn er geleert wird, abgeben kann.

Die Speicherkapazität ist eine physikalische Speicherkenngröße, die aber von wirtschaftlichen, technischen, geologischen oder politischen Faktoren abhängt.

Energiedichte

Die Energiedichte stellt das Verhältnis von nutzbarer Energie zur Masse oder zum Volumen dar. Sie gibt an, wie viel Energie eine Masseneinheit (in MJ/kg) oder eine Volumeneinheit (in MJ/m³) eines Speichers enthält.

Ausspeicherdauer

Die Ausspeicherdauer gibt an, wie lange der Ausspeichervorgang bis zur Leerung des Speichers dauert.

Sie bestimmt im Wesentlichen den Einsatz des Speichers (Kurz- oder Langzeitspeicher).

Wirkungsgrad

Der Wirkungsgrad gibt an, wie viel Prozent der dem Speicher zugeführten Energie nach der Entladung zur Verfügung steht. Er bezeichnet damit das Verhältnis von aufgenommener zu abgegebener Energie und wird in Prozent angegeben.

Selbstentladerate

Die Selbstentladerate gibt an, wie viel Prozent der in dem Speichermedium gespeicherten Energie ohne aktive Entnahme in einem bestimmten Zeitraum (pro Stunde oder pro Tag) verloren geht.

Abbildung C3.09 Definition Energiespeicher

Information 9 – Energiespeicher im Vergleich

	Li-Ionen-Akku	Pumpspeicher	Wasserstoff (200 bar)	eE-Methan (200 bar)	Erdöl
Massenspezifische Energiedichte in MJ/kg (gerundet)	0,4-0,7	0,001-0,005	120	50	42
Volumenspezifische Energiedichte in MJ/m ³ (gerundet)	700-1400	1-4	1900	9300	37 800 <i>(Dichte 0,9 g/ml)</i>
Speicherkapazität in D aktuell (in MJ, gerundet)	0,01 Mio	140 Mio	200 Mrd <i>Kavernenspeicher</i>	1100 Mrd <i>Poren- und Kavernenspeicher</i>	840 Mrd <i>(~ 20 Mio t strategische Erdölreserven)</i>
Ausspeicherdauer	Minuten	Stunden	Wochen bis Monate	Monate	3 Monate
Gesamtwirkungsgrad (Einspeichern von elektrischer Energie → Speichern → Ausspeichern von elektrischer Energie)	90-97%	70-82%	34-44%	30-38%	30-45% <i>(ohne Einspeichern)</i>
Selbstentladerate pro Tag	0,0008-0,041%	0-0,5%	vernachlässigbar gering	vernachlässigbar gering	vernachlässigbar gering

Abbildung C3.10 Vergleich ausgewählter Speicher für elektrischen Strom aus Erneuerbaren Energien (eE) mit fossilem Energieträger

Quelle: Eigene Darstellung nach Sterner, Michael / Stadler, Ingo (2014): Energiespeicher. Bedarf, Technologien, Integration. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg Verlag. S. 600ff.

Information 10 – Speicherarten

Welche Speicher gibt es?

Supraleitende Spulen	Die Energiespeicherung erfolgt direkt in einem Magnetfeld. Die Energie ist in kürzester Zeit verfügbar, jedoch muss die Spule für optimale Leistungsausbeuten auf -200 °C gekühlt werden.
Kondensatoren	Die Energiespeicherung erfolgt direkt in einem elektrischen Feld. Auch hier ist die Energie in kürzester Zeit verfügbar, aber leistungsfähige Kondensatoren („Super Caps“) sind noch sehr teuer.
Akkumulatoren	Akkumulatoren speichern elektrische Energie direkt in chemischer Energie. Es gibt eine Vielzahl an Akkumulator-Typen. Am bekanntesten sind die Blei-Säure-Akkumulatoren, welche man aus dem Auto („Autobatterie“) kennt, und der Lithium-Ionen-Akkumulator. Letzterer wird aufgrund seiner vergleichsweise hohen Energiedichte und der langen Lebensdauer für viele elektronische Unterhaltungsgeräte (Smartphones, Tablets, Notebooks) und für elektrische Fahrzeuge verwendet (E-Bikes, E-Autos).
Schwungmasse-speicher	Ein Rotor wird beschleunigt und speichert dadurch mechanische Energie. Bei Bedarf kann die gespeicherte Energie wieder ausgekoppelt und direkt als Bewegungsenergie genutzt oder in elektrische Energie umgewandelt werden.
Druckluftspeicher	Druckluftspeicherkraftwerke speichern Energie in Form von komprimierter Luft. Ein durch elektrischen Strom betriebener Kompressor verdichtet die Luft auf Drücke von 30 bis 75 bar, und durch Expansion des Gases kann mit Hilfe einer Turbine und einem Generator wieder elektrischer Strom erzeugt werden.
Pumpspeicherwerke	Beim Einspeichern werden große Wassermengen durch elektrisch betriebene Pumpen in ein höher gelegenes Speicherbecken gebracht. Bei Bedarf lässt man das Wasser wieder zurückfließen und erzeugt so über Turbinen, welche einen Generator antreiben, wieder elektrischen Strom. Die Energiedichte ist dabei abhängig von dem Höhenunterschied zwischen Oberbecken und Unterbecken, so dass oft Fallhöhen von fünfzig bis mehreren hundert Metern auftreten.
Wärmespeicher	Ein Wärmespeicher kann thermische Energie (Wärme) über einen langen Zeitraum speichern. Bei „sensiblen Wärmespeichern“ wird ein gut isoliertes Speichermedium erhitzt und kann so die Wärme über einen langen Zeitraum speichern. Als Speichermedien kommen Flüssigkeiten (z.B. Wasser) oder feste Stoffe (z.B. Eisenoxidsteine) in Betracht. Wichtig hierbei ist jedoch, dass der Stoff eine hohe spezifische Wärmekapazität besitzt. Bei Latentwärmespeichern wird zusätzlich zur sensiblen Wärme, die für einen Phasenwechsel (fest \rightarrow flüssig) notwendige Energie gespeichert. Ein bekanntes Beispiel hierfür sind Taschenwärmer für warme Hände im Winter.
Power-to-Gas	Mit „Power-to-Gas“ oder „Windgas“ werden alle Speichersysteme bezeichnet, welche elektrische Energie in Form von Bindungsenergien gasförmiger Stoffe speichern. Dabei wird zunächst in einem Elektrolyseur mit Hilfe von elektrischem Strom Wasser in seine Elemente Wasserstoff und Sauerstoff gespalten. Der Wasserstoff kann nun entweder in unterirdischen Kavernen oder Drucktanks gespeichert oder auch bei sehr tiefen Temperaturen (-253 °C) verflüssigt werden. Durch „kalte Verbrennung“ des Wasserstoffs in einer Brennstoffzelle kann nun wieder elektrischer Strom gewonnen werden. Alternativ kann man auch den Wasserstoff mit Kohlenstoffdioxid zu Methangas („künstliches Erdgas“) chemisch umwandeln und in das bestehende Erdgasnetz einspeisen. Durch Verbrennen in herkömmlichen Gaskraftwerken wird wieder elektrischer Strom erzeugt. Da das hier im Speichermedium gebundene Kohlenstoffdioxid aus der Luft gewonnen wurde, ist die erneute Freisetzung von CO_2 bei der Rückverstromung nicht klimaschädlich.
Power-to-Liquids	Durch chemische Reaktionen ist es möglich, aus elektrolytisch erzeugtem Wasserstoff und Kohlendioxid flüssige Kraftstoffe wie Methanol, Benzin, Diesel oder Kerosin künstlich herzustellen. Damit könnten auch Flugzeuge, Schiffe oder Lastkraftwagen klimaneutral eingesetzt werden. Jedoch müssen bei der Erzeugung flüssiger Kraftstoffe weitere Energieverluste berücksichtigt werden.

Abbildung C3.11 Speicherarten

Arbeitsblatt 1 – Potenziale der Sonnenenergieernte

1. Stelle „alte“ und „neue“ Energien gegenüber (Vorteile, Nachteile) und fasse zusammen, welche Vorteile der „alten“ Energien und Nachteile der „neuen“ Energien du in der Ausstellung darüber hinaus auch kennengelernt hast.

„Alte“ Energien	„Neue“ Energien

2. Schätze mit Hilfe des Energiewürfels ab, wie viel Mal mehr Sonnenenergie auf der Erde ankommt, als der weltweite Energiebedarf ist. Nutze ein Geodreieck zur Hilfe!

3.

- a. Nenne Sonnenenergieerntemöglichkeiten.

- b. Benenne die Schritte von der Sonnenenergieernte bis zum Wasserstoffauto.

Arbeitsblatt 2 – Berechnung der möglichen Solarenergieernte in Deutschland

Windräder

1. Schätze die möglichen Ernteflächen ab und berechne (siehe Hinweis 1), in welchen Mengen Energien über Windkraft geerntet werden können. Vergleiche deine Ergebnisse mit dem elektrischen und dem Primärenergiebedarf in Deutschland. Nutze hierzu die Windkarte Deutschlands. Eine Schülergruppe hat für Deutschland eine mögliche Sonnenenergieerntefläche durch Windräder von 28.000 km^2 abgeschätzt.

2. Beurteile ebenfalls, ob die Flächenbedarfe realisierbar sind.

Hinweis 1

Suche solche Flächen in Deutschland heraus, über denen die Windgeschwindigkeit so groß ist, wie über dem Hunsrück (RLP) (du benötigst Windgeschwindigkeiten zwischen 5 m/s und 10 m/s) und berechne bzw. schätze die deutschlandweit mögliche Fläche ab. Berechne die Energieernte unter der Voraussetzung, dass $3,5$ Windräder des Typs $7,5 \text{ MW}$ auf 1 km^2 passen.

Solarmodule

1. Schätze nun wie oben die Energieerntemengen durch Solarmodule ab (siehe Hinweis 2) und vergleiche diese. Nutze hierzu die Deutschlandkarte „Sonnenenergieeinstrahlung“. Eine Schülergruppe hat für Deutschland eine mögliche Sonnenenergieerntefläche durch Solarmodule von 6.000 km^2 abgeschätzt.

2. Beurteile ebenfalls, ob die Flächenbedarfe realisierbar sind.

Hinweis 2

Suche solche Flächen in Deutschland heraus, auf denen die Sonnenenergieeinstrahlung so groß ist wie in Wörrstadt (RLP) (du benötigst Einstrahlwerte größer als 1.040 kWh/a). Berechne bzw. schätze die deutschlandweit mögliche Fläche ab. Berechne die Energieernte.

Arbeitsblatt 3 – Speicherung der Energien

1. Erläutere, zu welchem Zweck Energiespeicher benötigt werden und nenne drei Energiespeicher aus deinem Alltag.

2. Informiere dich über die verschiedenen Energiespeicherarten und nenne Beispiele für die Speicherung „alter“ und „neuer“ Energien. Stelle die Vor- und Nachteile der Energiespeicher tabellarisch gegenüber.

z.B.

Energiespeicher	Vorteil	Nachteil
Erdöl(lager)	Hohe Speicherkapazität	CO ₂ -Freisetzung, begrenztes Vorkommen

3. Welche Speicherform/en wird/werden in der Zukunft eine flächendeckende Versorgungssicherheit mit Energie in Deutschland auch über einen längeren Zeitraum bieten? Begründe deine Entscheidung.

4. Stell dir vor, du bist Entwicklungschef einer Autofirma. Welcher Energiespeicher sollte in Zukunft in den Autos deiner Firma eingesetzt werden? Begründe deine Wahl.

5. Nimm kritisch Stellung zu folgender Aussage:
„Eine Energieversorgung aller Menschen auf dieser Erde ist nur durch Solarenergieernte möglich und sollte ein Grundrecht sein.“

Arbeitsblatt 4 – Mobilitätskonzept der Zukunft

Die Mobilität der Zukunft liegt in der E-Mobilität. Dazu zählt die Speicherung der elektrischen Energie aus Solarenergieernte direkt in Akkumulatoren oder indirekt als Wasserstoff, welcher in sogenannten Brennstoffzellen wieder Strom erzeugt (siehe Information 3).

Nachteile von rein elektrisch betriebenen Fahrzeugen („electric vehicles“ EV) sind zurzeit noch die geringe Reichweite bei zugleich hohem Fahrzeuggewicht. Sind daher Brennstoffzellenautos („fuel cell vehicles“ FCV) vielleicht die bessere Alternative?

1. Wasserstoff hat eine Energiedichte von 33,3 kWh pro kg. Ein moderner Wasserstofftank im FCV fasst 5 kg Wasserstoff. Berechne, wie viel elektrische Energie zur Verfügung steht, wenn die Brennstoffzelle mit einem Wirkungsgrad von 65% arbeitet.

2. Ein mit Elektromotor betriebenes FCV hat einen elektrischen Energieverbrauch von etwa 20 kWh pro gefahrene 100 km. Welche Reichweite hat das FCV?

3. In Deutschland werden im Jahr 615 Milliarden Kilometer mit PKWs zurückgelegt. Berechne, wie viel Wasserstoff (in kg) durch Elektrolyse gewonnen werden müsste, damit der gesamte private Automobilverkehr auf FCVs umgestellt werden kann.

4. Berechne die hierzu nötige elektrische Primärenergie, wenn der Elektrolyseur zur Erzeugung von Wasserstoff einen Wirkungsgrad von 75% hat.

5. Vergleiche den berechneten Primärenergieverbrauch mit dem Solarenergieertrag für Deutschland (Arbeitsblatt 2) und diskutiere, ob eine Wasserstoffmobilität realisierbar ist.

Lösungen

Lösungen zu Arbeitsblatt 1 – Potenziale der Sonnenenergieernte

zu 1.

„Alte“ Energien	„Neue“ Energien
<p>Vorteile: hohe Energiedichte, Verfügbarkeit (aktuell), Infrastruktur vorhanden.</p> <p>Nachteile: Umweltbelastungen (Kohleabbau, Ölförderung, gesundheitsgefährdende Mikropartikel, endliche Vorräte), CO₂-Ausstoß, klimaschädlich, keine ausreichende Versorgung der Weltbevölkerung möglich.</p>	<p>Vorteile: keine Umweltbelastung, immer vorhanden (unerschöpflich), ausreichende Versorgung der Weltbevölkerung möglich.</p> <p>Nachteile: noch fehlende Infrastruktur, noch fehlende Energiespeicher.</p>

zu 2.

Höhe „Energiewürfel“: 6 cm (hintere rechte Kante)

Höhe „Verbrauchswürfel“: 2 mm

Volumen „Energiewürfel“/Volumen „Verbrauchswürfel“= $(60\text{ mm})^3/(2\text{ mm})^3=27.000$

Antwort: Pro Jahr kommt 27.000-mal mehr Energie durch Sonneneinstrahlung auf der Erde an als verbraucht wird.

zu 3.

a. Windkraftanlagen, Photovoltaik (PV), Solarkollektoren, Solarrinnenkraftwerke

b. Erzeugung von elektrischem Strom → Erzeugung von Wasserstoff (Elektrolyseur) → Speichern von Wasserstoff → Wasserstofftankstelle

Lösungen zu Arbeitsblatt 2

Berechnung der möglichen Solarenergieernte in Deutschland

Im Rahmen eines fachübergreifenden und fächerverbindenden Projektes am Kurfürst-Balduin-Gymnasium ermittelte eine Schülergruppe im Fach Erdkunde für Deutschland eine

- Fläche für Solarmodule: 6.000 km^2
- Fläche (onshore) für Windräder 28.000 km^2

Mit den gemessenen Werten ergibt sich:

- **Solarenergieernte mit Windrädern**

3,5 Windräder pro km^2 :

$$18,8 \cdot 10^6 \text{ kWh/Windrad} \cdot 3,5 \text{ Windräder}/\text{km}^2 \cdot 28.000 \text{ km}^2 \\ = 1,842 \cdot 10^{12} \text{ kWh} = 1,842 \cdot 10^{12} \text{ Wh} = 1.842 \text{ TWh}$$

- **Solarenergieernte mit Solarmodulen**

Durchschnittssolarmodulernte pro m^2 :

$$110 \text{ kWh}/\text{m}^2 \rightarrow 110 \cdot 10^6 \text{ kWh}/\text{km}^2 = 110 \text{ MWh}/\text{km}^2$$

$$110 \cdot 10^6 \text{ kWh}/\text{km}^2 \cdot 6.000 \text{ km}^2 = 6,6 \cdot 10^{11} \text{ kWh} = 6,6 \cdot 10^{14} \text{ Wh} = 660 \cdot 10^{12} \text{ Wh} = 660 \text{ TWh}$$

Lösungen zu Arbeitsblatt 3 – Speicherung der Energien

zu 1.

Damit Energie jederzeit verfügbar ist, muss diese in einem Energiespeicher speicherbar sein, welcher bei Bedarf geleert werden kann. Beispiele: Akkumulatoren, Kraftstoffe, Lebensmittel u.a.

zu 2.

Energiespeicher	Vorteil	Nachteil
Erdöl(lager)	Speicherkapazität	CO ₂ -Freisetzung, schädliche Emissionen, begrenztes Vorkommen
Kohle(lager)	Speicherkapazität	CO ₂ -Freisetzung, schädliche Emissionen, begrenztes Vorkommen
Erdgas(lager)	Speicherkapazität	Methanfreisetzung, CO ₂ -Freisetzung, schädliche Emissionen, begrenztes Vorkommen
Wasserstoff(lager)	Emission nur von Wasser, bei Leckage nur Freisetzung von ungiftigem Wasserstoff, „unbegrenzt“ produzierbar	Energiedichte (volumenspezifisch)
Akkumulatoren	Keine Freisetzung von Gasen, in großer Stückzahl produzierbar	Speicherkapazität

zu 3.

Nur chemische Speicher werden in der Lage sein, eine Speicherkapazität aufzuweisen, welche eine flächendeckende Energieversorgung über Monate hinweg garantiert. Somit stellt durch Elektrolyse erzeugter Wasserstoff aufgrund seines Gesamtwirkungsgrades die vielversprechendste Möglichkeit dar. Allerdings hat das durch Methanisierung erzeugte Methan aufgrund seiner Stoffeigenschaften und des bestehenden Erdgasnetzes auch das Potential, eine Rolle bei der Energieversorgung zu spielen. Fossile Energiespeicher (Erdöl, Kohle, Erdgas) werden langfristig gesehen in der Zukunft aufgrund der oben genannten Nachteile eine geringe Rolle spielen.

zu 4.

Li-Ionen-Akkus haben zwar den Vorteil eines guten Wirkungsgrads von über 90%, allerdings sind Preis, Gewicht, Reichweite und Ladedauer auch nach wie vor ein großes Problem. Chemische Energiespeicher wie Benzin hingegen sind leicht zu tanken und garantieren ausreichende Reichweiten. Da in Zukunft rohbasierte Treibstoffe knapper und zudem klimaschädliche Gase emittiert werden, stellt auch hier Wasserstoff aus Erneuerbaren Energien eine gute Alternative dar. Wasserstoff kann, wie bereits gezeigt wurde, hinreichend schnell und sicher getankt werden, FCV besitzen die nötige Reichweite von mind. 500 km und die kalte Verbrennung in der Brennstoffzelle ist sehr effizient und emissionsfrei.

zu 5.

Es wird pro Jahr 25.000-mal mehr Sonnenenergie auf die Erde eingestrahlt als der Jahresverbrauch tatsächlich ist. Gelänge es, nur einen Bruchteil zu ernten, so müsste man nicht fossile Energieträger abbauen, um die Energie zentral zu erzeugen und zu vermarkten. Jeder Bürger, jede Kommune, jeder Staat könnte zum Energieproduzenten werden. Eine Volkswirtschaft wie Deutschland würde sogar davon profitieren, da die Wertschöpfungskette im eigenen Land bleiben würde und die Energieträger nicht teuer aus den wenigen exportierenden Ländern gekauft werden müssten (Gas, Kohle, Öl, Uran). Arme Länder könnten sich somit energieunabhängig machen und wären nun in der Lage, eine funktionierende Wirtschaft aufzubauen. Leider gibt es in der Dritten Welt Länder, welche mehr Geld für den Import von fossilen Energien ausgeben, als das tatsächliche BIP ist, obwohl genügend Solarenergie zu ernten wäre.

Fazit

Eine ausreichende Energieversorgung ist eine notwendige Voraussetzung für Wohlstand und wirtschaftliches Wachstum. Die Solarenergieerntemengen wären ausreichend, um alle Menschen mit Energie versorgen zu können. Daher sollte der Zugang zu Erneuerbarer Energie ein Grundrecht aller Menschen sein.

Lösung zu Arbeitsblatt 4 – Mobilitätskonzept der Zukunft

zu 1.

$$E_{\text{H}_2} = 33,3 \text{ kWh/kg} \cdot 5 \text{ kg} = 166,5 \text{ kWh}$$

$$E_{\text{el}} = 0,65 \cdot 166,5 \text{ kWh} = 108,23 \text{ kWh}$$

zu 2.

$$\text{Reichweite } s = 108,23 \text{ kWh} / (20 \text{ kWh}/100\text{km}) = 5,41 \cdot 100 \text{ km} = 541 \text{ km}$$

zu 3.

Aus den Aufgaben 1 und 2 ergibt sich (gerundet): 1 kg entspricht 100 km.

Pro Jahr werden in Deutschland 615 Mrd. Kilometer gefahren,
also $615 \cdot 10^9 \text{ km}$ entspricht $615 \cdot 10^7 \text{ kg}$.

zu 4.

$$E_{\text{H}_2} = 33,3 \text{ kWh/kg} \cdot 615 \cdot 10^7 \text{ kg} = 2,05 \cdot 10^{11} \text{ kWh}$$

$$\text{Wirkungsgrad Elektrolyseur} = 0,75, E_{\text{el}} = 2,05 \cdot 10^{11} \text{ kWh} / 0,75 = 2,73 \cdot 10^{11} \text{ kWh} = 273 \text{ TWh} = 982,8 \text{ PJ.}$$

zu 5.

Aus Arbeitsblatt 2: Solarenergieernte $E_{\text{Solar}} = 660 \text{ TWh/a}$.

Der Solarenergieertrag (ohne Windenergie!) ist also 2,5-mal höher als es die für die Wasserstoffmobilität benötigte Energiemenge wäre.

Fazit

Durch Erneuerbare Energien könnte genügend elektrischer Strom produziert werden, um alle Autos auf FCV umzustellen.

C. ERNEUERBARE ENERGIEN

C4. Wind-Zu-Wasserstoff-Technologie, Elektromobilität

Autorinnen und Autoren

Dr. Beate Brase – Leibniz Universität, Niedersächsisches Studienkolleg, Hannover

Wolfgang Claas – Marie Curie Schule, Ronnenberg-Empelde

Modellexperimente zur Wind-Zu-Wasserstoff-Technologie für Autos mit Brennstoffzellen

Lehrerinformationen zum Konzept und zum Ablauf der Unterrichtsreihe

Modellexperimente zur Wasserstofftechnologie mit Verknüpfung des Bereichs Elektromobilität sollten bei der Behandlung Erneuerbarer Energien im Unterricht nicht fehlen, da diese das Schülerinteresse in besonderem Maße anregen, sich intensiver mit dieser zukunftsweisenden Technologie zu beschäftigen.

Die Intention dieser Einheit, die sich in verschiedene experimentelle Phasen gliedert und der eine Rechercheinheit von Schüler-Expertengruppen vorausgeht, beruht darauf, Neugierde an dieser Technik zu wecken sowie Chancen und mögliche Probleme der Wind-Zu-Wasserstoff-Technologie bei der Elektromobilität zu erkennen. Die Einheit endet mit einem Wettbewerb.

Kernaspekte dieses Unterrichtsgangs sind die Umwandlung von Windenergie in elektrische Energie, die Erzeugung von Wasserstoff mit Hilfe eines Elektrolyseurs, der Einsatz reversibler PEM-Brennstoffzellen (Proton-Exchange-Membrane), die Speicherung von Wasserstoff, der Aufbau und der Betrieb von wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen sowie deren Befüllung an Wasserstofftankstellen.

Die hier dargestellten Schülerexperimente wurden mit Bauteilen des REES (Renewable Energies Education Set) der Firma Horizon Fuel Cell Technologies und als Windsimulator mit einem Hochleistungsbodenventilator der Firma Sichler durchgeführt.

Die Nutzung von Wasserstoff als Energiequelle für das Auto der Zukunft kann im Rahmen der Erzeugung von Wasserstoff mittels Windenergie experimentell durch verschiedene Simulationen im Mikromaßstab von Schülerinnen und Schülern selbst durchgeführt werden.

Typische Schalexperimente zur elektrolytischen Zersetzung von Wasser sind im Chemieunterricht der Hoffmannsche Zersetzungsapparat und die alkalische Elektrolyse. Brennstoffzellen werden meistens im Physikunterricht mittels Solarzellen betrieben.

Der Einsatz von Solarzellen wird bereits bei den jüngsten Schülerinnen und Schülern im Unterricht im Rahmen der Kerncurricula auf der Basis als Energiewandler thematisiert.

Der Einsatz eines Windgenerators hingegen, welcher hier im Turbinengehäuse einen Gleichrichter eingebaut hat, stellt eine über die Kerncurricula hinausgehende innovative Energiequelle zum Betrieb einer Brennstoffzelle dar. Weitergehend handelt es sich bei dem Eingangsexperiment um eine reversible PEM-Brennstoffzelle, die zunächst als Elektrolyseur eingesetzt wird. Dabei ist zum grundsätzlichen Verständnis der Nutzung regenerativer Energien das Verständnis bzw. die Thematisierung der komplexen Abläufe des Protonentransfers in der eingesetzten reversiblen PEM nicht zwingend notwendig. Hier kann im Rahmen einer didaktischen Reduzierung nur die Umkehrbarkeit der Prozesse behandelt werden. Dies bedeutet einerseits auf der Stoffebene die Erzeugung von Wasserstoff und Sauerstoff aus Wasser mittels elektrischer Energie und umgekehrt sowie andererseits auf der Energieebene die Umwandlung von elektrischer Energie in chemische Energie und umgekehrt. Dies erfolgt in der experimentellen Phase B.

Der Anforderungsgrad und die Zeitdauer der dargestellten Unterrichtseinheit lassen sich individuell mit den in dieser Schriftenreihe vorgestellten Materialien leicht weiter modifizieren.

Die beschriebenen Schülerexperimente sollen hierzu nur den roten Faden zum Einstieg in die Wasserstofftechnologie bilden.

Einzelne der beschriebenen experimentellen Aufbauten lassen sich ebenso im Unterricht, außerhalb dieser Themenreihe, als besonderes Highlight mit praktischem Anwendungsbezug einsetzen, um z.B. theoretische Betrachtungen mit eigenen experimentellen Daten zu beleben. Dies gilt z.B. im Chemie- und Physikunterricht für die Behandlung der Faraday-Gesetze und des Mols, bei Druckbetrachtungen und der allgemeinen Gasgleichung sowie bei der Behandlung von Wirkungsgraden, von Kreisbewegungen, dem Messen von Spannungen, der Reihen- und Parallelschaltung etc.

Details zum Ablauf

Es ist notwendig, dass der experimentellen **Phase B** Recherchearbeiten von drei Expertengruppen vorausgehen (siehe arbeitsteilige Rechercheaufträge in **Phase A**).

Anschließend sollten mehrere Windenergie-Elektrolysestationen von den Schülergruppen aufgebaut werden, damit konstruktive Reflexionen und Diskussionen innerhalb der einzelnen Gruppen ermöglicht werden.

Hierzu bilden sich neue Expertengruppen, so dass in jeder dieser Forschergruppen Mitglieder aus o.g. Expertengruppen integriert sind.

Es hat sich gezeigt, dass es für Schülerinnen und Schüler hilfreich ist, dass bereits von Lehrerseite ein Modellexperiment aufgebaut wird.

Auf der Basis ihrer Recherchearbeiten werden anhand des Eingangsexperimentes die Wirkungsweisen der einzelnen Elemente in der Gruppe und später im Plenum erörtert. So hat die Lehrkraft an dieser Stelle die Möglichkeit, ggf. durch zusätzliche Informationen dem besonderen Schülerinteresse in der weiteren Planung gerecht zu werden, Vertiefungen anzubieten und auftauchende Fragen zu klären.

Im Anschluss erfolgt in **Phase C** ein Vergleich des Modellexperiments mit einer realen Wasserstofftankstelle und dem Aufbau eines realen wasserstoffbetriebenen Autos.

Dies führt zu der Erkenntnis, dass sich der Windpark nicht in unmittelbarer Nähe einer Tankstelle befinden muss, der Elektrolyseur sich real außerhalb des Fahrzeugs befindet, Wasserstoff extern in Tanks gespeichert wird und das Gas von der Elektrolysestation zur Tankstelle geleitet werden muss. Die Betankung erfolgt ähnlich der Benzinbetankung eines Fahrzeugs. Wasserstoff wird ausschließlich in internen Gasflaschen im Fahrzeug mitgeführt und dort nicht erzeugt.

Falls von Schülerseite an dieser Stelle bereits der fehlende Sauerstoff angesprochen wird, könnte dieser Aspekt hier schon kurz thematisiert werden. Ansonsten wäre das folgende Experiment dazu geeignet.

In **Phase D** erfahren die Schülerinnen und Schüler in einem weiteren Experiment, dass der in Phase B erzeugte und dort gespeicherte Wasserstoff einer anderen, kleineren Brennstoffzelle zugeführt werden kann, die keine weitere zusätzliche Sauerstoffzuleitung aus externen Speichern benötigt. Hierzu charakterisieren die Schülerinnen und Schüler die beiden unterschiedlichen Brennstoffzellen auch optisch. Dadurch wird die Überleitung zu einem Realauto hergestellt.

Hier kann sich eine weitere Diskussion, z.B. über die Vorteile wie die Reduzierung der Brand- bzw. Explosionsgefahr, anschließen.

In **Phase E** sollen drei Expertengruppen aus Ingenieuren in einer Wettbewerbssituation Experimente zur Optimierung der Wasserstoffproduktion mit Windkraftträdern in Abhängigkeit von Rotorform, Rotorblättern und -anzahl durchführen. Hier können die Schülerinnen und Schüler ihr Wissen aus ihren Recherchearbeiten zu Beginn der Unterrichtseinheit einbringen.

Darüber hinaus müssen sie in der Lage sein, Spannungen eigenständig zu messen, die Entwicklung der Gasvolumina quantitativ zu bestimmen und diese in Korrelation zur gemessenen Spannung zu setzen.

Aus den gewonnenen Erkenntnissen dieser Tests sollen alle Gruppen gemeinsam den energieeffizientesten Windpark der Zukunft konstruieren.

Zum Abschluss dieser Unterrichtseinheit bekommen die Schülerinnen und Schüler in **Phase F** die Gelegenheit, Chancen und Möglichkeiten der Wasserstofftechnologie in größerem Kontext zu reflektieren und zu diskutieren.

Darüber hinaus ist es sinnvoll, die Unterrichtseinheit hinsichtlich des Lernerfolgs und des Schülerinteresses unmittelbar zu evaluieren. Hier bieten sich verschiedene Methoden des formativen Assessments an, die auch bereits nach den einzelnen Phasen zum Einsatz kommen können.

Ablaufplan und Schüleraufträge

Phase A – Recherchearbeit in Expertengruppen

Arbeitsblatt 1

Bereitet in drei Expertengruppen folgende Recherchen vor:

- Informiert euch über technische Möglichkeiten, Wasserstoff aus Wasser zu gewinnen. Diskutiert die möglichen Verfahren im Hinblick auf ihren praktischen Einsatz in der Automobilindustrie. Geht dabei auch auf Möglichkeiten der Energiespeicherung ein.
- Informiert euch, wie elektrischer Strom mittels Windturbinen erzeugt wird. Beschreibt und zeichnet, wie die Windkraftträder in eurer Umgebung aussehen. Achtet dabei auch auf die Form der Rotorflügel, die Anzahl und ihre Stellung.
- Erklärt, wie das Betanken von Autos an Wasserstofftankstellen funktioniert. Sucht Fotos und Zeichnungen von wasserstoffbetriebenen Autos und Wasserstofftankstellen. Informiert euch über Standorte und die Bedeutung von Wasserstofftankstellen in Deutschland.

Wichtig

Zeichnungen, Fotos etc. druckt ihr bitte aus und bringt diese zusätzlich digital auf einem USB-Stick mit.

Phase B – Windenergie-Elektrolysestation und Elektromobilität

Arbeitsblatt 2 (Seite 1 von 2)

Experiment 1

- Fertigt eine beschriftete Zeichnung des Aufbaus an.
 - Erörtert gemeinsam in eurer Gruppe das Funktionsprinzip des aufgebauten Modellexperiments und klärt eure Fragen.
 - Erst, wenn ihr keine Fragen mehr habt, baut ihr das Experiment auf.
 - Notiert eure Beobachtungen.
-
-
-

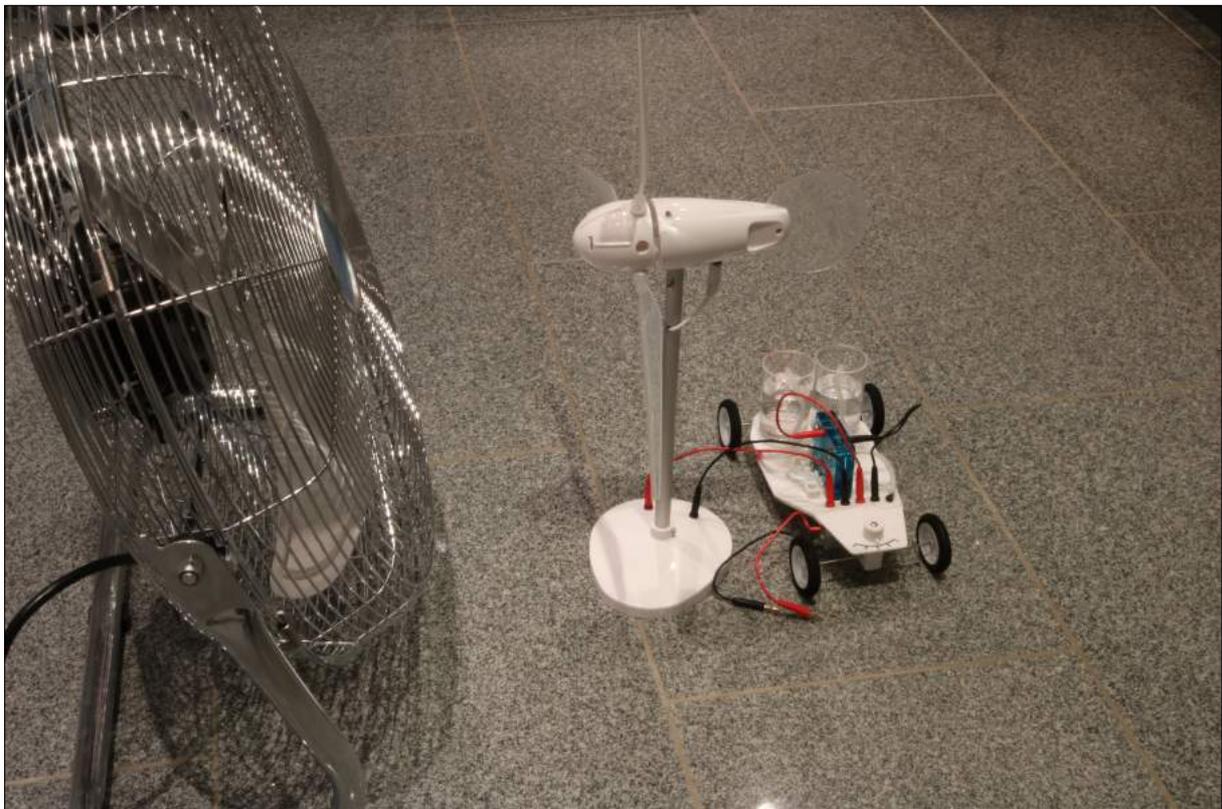


Abbildung C4.01 Elektrolyse von Wasser durch Windenergie mit im Auto integrierter PEM-Brennstoffzelle

Phase B – Windenergie-Elektrolysestation und Elektromobilität

Arbeitsblatt 2 (Seite 2 von 2)

Experiment 2

- Zieht die beiden Kabel vom Windrad ab und steckt diese entsprechend ihrer Farben oben in das Fahrgestell des Autos.
- Steck die vom Elektromotor herunterhängenden Kabel in die noch freien Buchsen auf dem Fahrgestell des Autos.
- Notiert eure Beobachtungen.

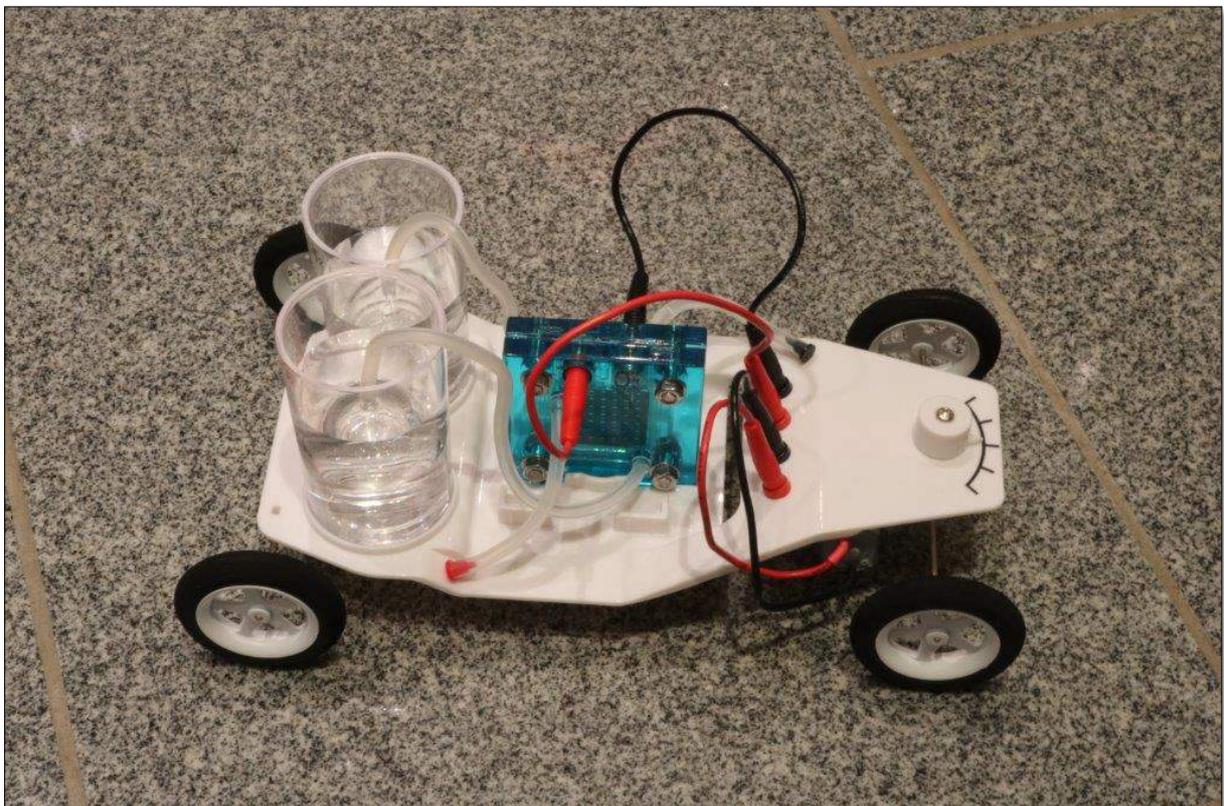


Abbildung C4.02 Modellexperiment zur Elektromobilität: Wasserstoffbetriebenes Auto mit PEM-Brennstoffzelle

- Fertigt ein Energieflussdiagramm für die beiden durchgeführten Experimente 1 + 2 an und beschreibt den Energiefluss.
- Schreibt auf, was ihr gerne noch untersuchen möchtet.
- Bereitet einen Kurzvortrag zu den durchgeführten Experimenten vor.
- Zum Abschluss werden eure Ergebnisse und Anregungen in der Klasse diskutiert.

Phase E – Wettbewerb

Arbeitsblatt 5

Aufgabe 1 – Das beste Ingenieurteam

Ein großer Energiekonzern hat eine lukrative Stellenausschreibung für das Ingenieurteam veröffentlicht, dem es gelingt, in kurzer Zeit möglichst viel Wasserstoff mit einer Elektrolysestation zu erzeugen. Voraussetzung dafür ist die Entwicklung des optimalen Windkrafttrades.

Es treten drei Ingenieurteams gegeneinander an.

Zur Verfügung stehen verschiedene Rotorblätter, die in Anzahl und Stellung am Rotor optimiert werden müssen.



Abbildung C4.08 Experimente zur Optimierung eines Windkrafttrades

Überlegt, dokumentiert und begründet die beste Anordnung. Trefft dann eine Entscheidung für **ein** Windkrafttrad.

Tipp

Ihr dürft euch natürlich mit den Experten austauschen, die bereits Recherchen zu Windkraftträdern durchgeführt haben, und ihre Unterlagen nutzen.

Erst nach Abschluss der theoretischen Arbeiten treten alle Teams im Wettbewerb am Windsimulator mit ihrem Windkrafttrad gegeneinander an. Vorher dürfen keine Tests am Windgenerator durchgeführt werden. Die Beurteilung erfolgt am Windsimulator über die Messung der Gasvolumina in Abhängigkeit von den erzeugten Spannungen.

Aufgabe 2 – Die optimale Windparkanlage

Entwickelt gemeinsam aus euren Erkenntnissen am Windsimulator die optimale Windparkanlage. Überlegt euch nicht nur die beste Stellung der Windkraftträder, sondern auch ihre richtige elektrische Vernetzung (Parallel- oder Reihenschaltung).

Phase F – Diskussion und Assessmentstudien

- Diskutiert Möglichkeiten und Perspektiven der Wasserstofftechnologie in der Elektromobilität.
- Meinungsumfrage: Wer möchte in Zukunft ein wasserstoffbetriebenes Auto fahren?
- Assessmentstudien zur Unterrichtsreihe z.B. „muddiest point“, „one-sentence“, etc.

Schülerinfoblatt 1



Abbildung C4.03 Zapfanlage einer Wasserstofftankstelle

Schülerinfoblatt 2



Abbildung C4.04 Wasserstoffspeicher bei der Tankstelle

Schülerinfoblatt 3

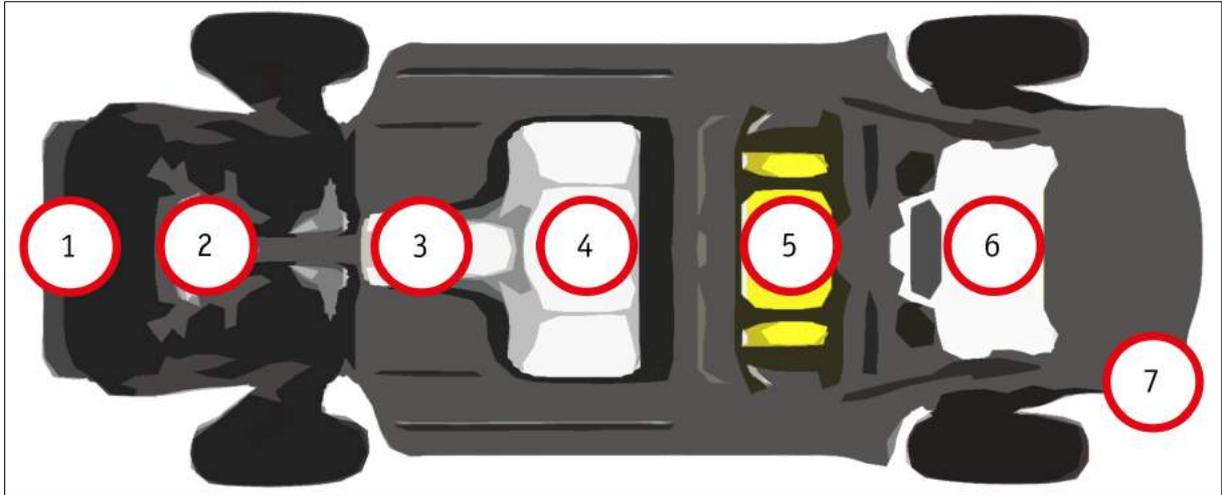


Abbildung C4.05 Querschnittsskizze eines brennstoffzellenbetriebenen Autos

- 1 = Antriebseinheit, Inverter
- 2 = E-Motor/Generator
- 3 = Konverter/Verstärker
- 4 = Brennstoffzelle
- 5 = Wasserstofftanks
- 6 = Batterie
- 7 = Einfüllstutzen

Schülerinfoblatt 4

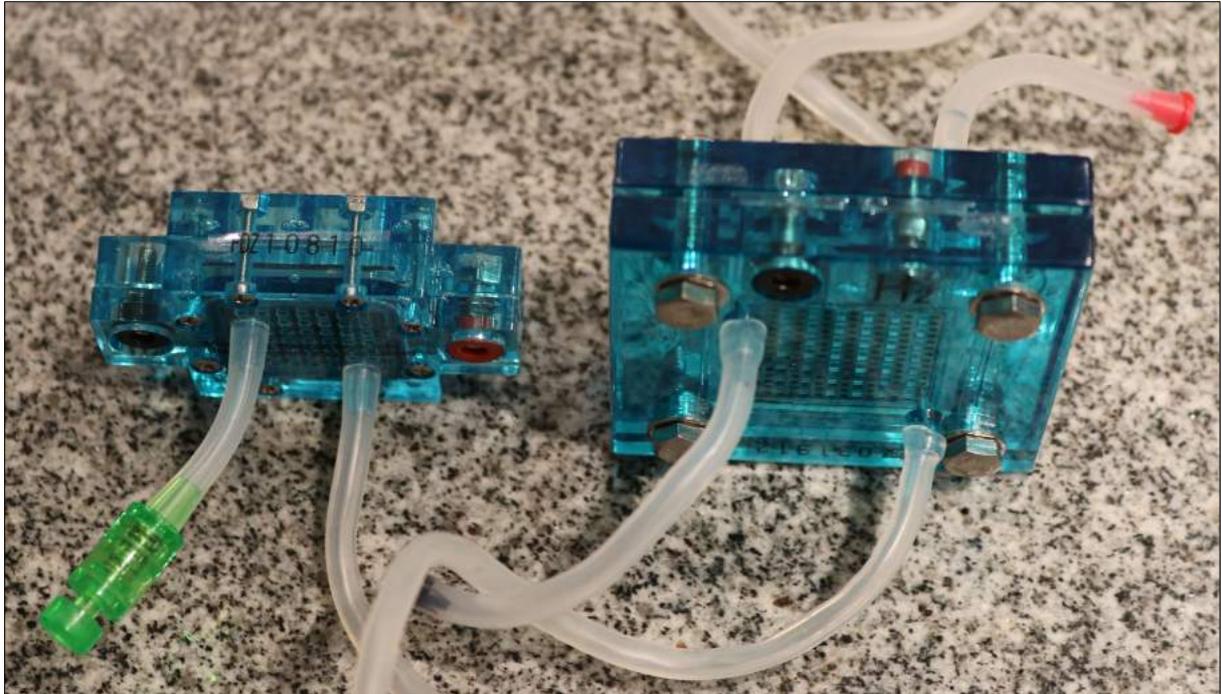


Abbildung C4.06 Brennstoffzellen in Seitenansicht von Wasserstoffseite

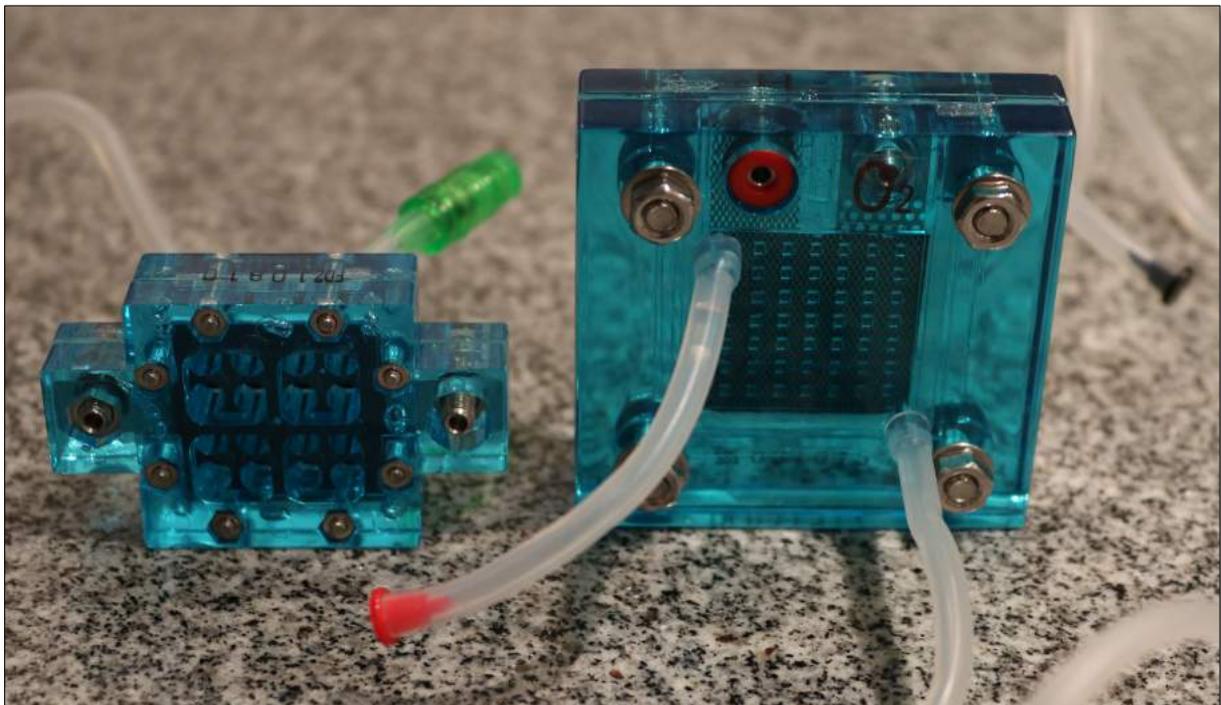


Abbildung C4.07 Brennstoffzellen in Seitenansicht von Sauerstoffseite



Anhang 1 – Literaturverzeichnis

B1. Klimawandel

Anonymous (o.J.a): Definition des Klimas. Online unter:

https://de.wikipedia.org/wiki/Klima#Definition_des_Klimas, abgerufen am 27.08.2018.

Anonymous (o.J.b): Aktueller Meeresspiegelanstieg. Online unter:

http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Aktueller_Meeresspiegelanstieg, abgerufen am 27.08.2018.

Bindoff, Nathaniel L. / Willebrand, Jürgen / Artale, V. [u.a.] (2007): Observations: Oceanic Climate Change and Sea Level. In: Solomon, S. / Qin, D. / Manning, M. [u.a.] (Hg.): Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge und New York: Cambridge University Press. Online unter: <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter5.pdf>, abgerufen am 27.08.2018.

Buchal, Christoph / Schönwiese, Christian-Dietrich (2012): Klima – Die Erde und ihre Atmosphäre im Wandel der Zeiten, 2. aktualisierte Auflage. Gütersloh.

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. in der Helmholtz-Gemeinschaft [DLR] (o.J.):

Erdbeobachtung und Fernerkundung. Online unter:

https://www.dlr.de/next/Portaldata/69/Resources/downloads/9_downloads/Fernerkundung_Erdbeobachtung_Schuelerheft.pdf, abgerufen am 27.08.2018.

Harenberg, Bodo (1998): Kompaktlexikon. Dortmund: Verlags- und Medien-GmbH & Co. KG. Band 3. S. 1596.

Schwarz, Rixa / Harmeling, Sven (2007): Auswirkungen des Klimawandels auf Deutschland. Mit Exkurs NRW. Online unter: <https://germanwatch.org/de/2675>, abgerufen am 27.08.2018.

<https://www.bmwi.de>, abgerufen am 27.08.2018.

C1. Erneuerbare Energien als Garant zur Energieversorgung? Eine kritische Analyse aus gesellschaftswissenschaftlicher Perspektive

AG Energiebilanzen e.V. [AGEB e.V.] (2015): Bruttostromerzeugung in Deutschland 2014 in TWh.

Online unter:

<http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/B/bruttostromerzeugung-in-deutschland,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>, abgerufen am 27.08.2018.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie [BMWi] (2015): Erneuerbare Energien auf einen Blick. Online unter:

<http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Erneuerbare-Energien/Erneuerbare-energien-auf-einen-blick.html>, abgerufen am 27.08.2018.

Chrischilles, Esther (2013): Standpunkt. Das EEG setzt die falschen Anreize. Online unter:

<http://www.bpb.de/politik/wirtschaft/energiepolitik/152488/standpunkt-das-eeeg-setzt-die-falschen-anreize>, abgerufen am 27.08.2018.

Die Bundesregierung (o.J.): Energiewende. Energie-Lexikon. CO₂ –Emission.

Online unter:

<https://www.bundesregierung.de/Content/DE/Lexikon/EnergieLexikon/C/2013-09-18-co2-emission.html>, abgerufen am 27.08.2018.

Niedersächsisches Kultusministerium (2010a): Kerncurriculum für das Gymnasium. Schuljahrgänge 5-10. Erdkunde. Hannover.

Niedersächsisches Kultusministerium (2010b): Kerncurriculum für die gymnasiale Oberstufe. Erdkunde. Hannover.

Samadi, Sascha / Lechtenböhrer, Stefan / Merten, Frank (2013): Standpunkt. Das EEG ist eine Erfolgsgeschichte. Online unter:

<http://www.bpb.de/politik/wirtschaft/energiepolitik/152491/standpunkt-das-eeg-ist-eine-erfolgsgeschichte>, abgerufen am 27.08.2018.

Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Sport [SenBJS] (2006a): Rahmenlehrplan für die Sekundarstufe I. Jahrgangsstufe 7-10. Fach Erdkunde. Berlin. S. 28.

Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Sport [SenBJS] (2006b): Rahmenlehrplan für die gymnasiale Oberstufe. Geografie. Berlin. S. 21.

Ziesing, Hans-Joachim (2013): Energieverbrauch und Energieeinsparung. In: Bundeszentrale für politische Bildung (Hg.): Informationen zur politischen Bildung. Energie und Umwelt. Bonn. Heft 319, S. 8-15.

C2. Experimente mit Solarmodulen

Mertens, Konrad (2015): Photovoltaik: Lehrbuch zu Grundlagen, Technologie und Praxis. München: Carl Hanser Verlag.

Stempel, Ulrich E. (2010): 50 Experimente mit Solarenergie: Grundlagen und Möglichkeiten der Photovoltaik. Poing: Franzis.

TU Bergakademie Freiberg – Institut für Werkstofftechnik, Schülerlabor: „Science meets school“ Werkstoffe und Technologien in Freiberg (o.J): Grundlagen. Modul: Photovoltaik. Versuch: Solarzelle. Online unter: <https://tu-freiberg.de/sites/default/files/media/schuelerlabor-6626/Angebote/grundlagensolarzelle.pdf>, abgerufen am 27.08.2018.

C3. Von der Solarernte zur Energieversorgung der Zukunft

Sterner, Michael / Stadler, Ingo (2014): Energiespeicher. Bedarf, Technologien, Integration. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg Verlag.

Anhang 2 – Abbildungsverzeichnis

Legende

Kapitel

Abbildung .xx, .xx, .xx, ..., ...

Urheber # Lizenzigentümer # Quellenangabe

Deckblatt

- **1.**
taraki/BIGSTOCK # MINT-EC # Online unter:
<https://www.bigstockphoto.com/de/image-7207584/stock-foto-saubere-energie-triebwerk>,
abgerufen am 27.08.2018.

A1. Stationsarbeit ENERGY IN MOTION (Seite 07 bis Seite 33)

- **.01, .02, .03, .04, .05**
Pedro Becerra # - # -

B1. Klimawandel (Seite 35 bis Seite 64)

- **.01**
C.-D. Schönwiese # - # Buchal, Christoph / Schönwiese, Christian-Dietrich (2012): Klima – Die Erde und ihre Atmosphäre im Wandel der Zeiten, 2. aktualisierte Auflage. Gütersloh. S. 76.
- **.02**
C.-D. Schönwiese # - # Buchal, Christoph / Schönwiese, Christian-Dietrich (2012): Klima – Die Erde und ihre Atmosphäre im Wandel der Zeiten, 2. aktualisierte Auflage. Gütersloh. S. 130.
- **.03**
FischX/Wikimedia Commons # gemeinfrei # Online unter:
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Carbon_cycle-cute_diagram-german.png, abgerufen am 27.08.2018.
- **.04**
IPCC # IPCC # IPCC. Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen (2013):
Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. In: Stocker, Thomas F. / Qin, Dahe /
Plattner, Gian-Kasper [u.a.] (Hg.): Klimaänderung 2013. Wissenschaftliche Grundlagen. Beitrag
der Arbeitsgruppe I zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für
Klimaänderungen. Cambridge, United Kingdom und New York: Cambridge University Press.
Deutsche Übersetzung durch ProClim, Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, Österreichisches
Umweltbundesamt, Bern/Bonn/Wien, 2014. S.24. Online unter:
<https://www.ipcc.ch/pdf/reports-nonUN-translations/deutch/ar5-wg1-spm.pdf>, abgerufen am
27.08.2018.

- **.05, .06, .07, .08**
Sabine Simon # Sabine Simon # -

C1. Erneuerbare Energien als Garant zur Energieversorgung? (Seite 67 bis Seite 78)

- **.01, .02**
André Steffans # André Steffans # Eigene Darstellung nach AG Energiebilanzen e.V. (27.02.2015): Strommix. Bruttostromerzeugung in Deutschland von 1990 bis 2014 nach Energieträgern. Online unter: https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=20171221_brd_stromerzeugung1990-2017.pdf, abgerufen am 27.08.2018.

C2. Experimente mit Solarmodulen (Seite 79 bis Seite 92)

- **.01 bis .14**
Andreas Degenhard # Andreas Degenhard # -

C3. Von der Solarernte zur Energieversorgung der Zukunft (Seite 93 bis Seite 114)

- **.01, .02**
Wolfgang Schäfer # Wolfgang Schäfer # -
- **.03**
OpenClipart-Vectors/pixabay # Stefanos Papachristopoulos # -
- **.04**
Roemer Grafik # - # Online unter:
<http://www4.total.fr/germany/20141121-TOTAL-Multi-Energie-Tankstelle-H2-BER-Stand100614%28c%29TOTAL-roemer-grafik.de.pdf>, abgerufen am 27.08.2018.
- **.05, .06**
Wolfgang Schäfer # Wolfgang Schäfer # -
- **.07**
DWD # DWD # Online unter:
http://www.dwd.de/DE/leistungen/_config/leistungsteckbriefPublication.pdf;jsessionid=6F7ED82E0D3D2BD1C0FE75E3CC683917.live21072?view=nasPublication&nn=16102&imageFilePath=107589377893578173870156857510164700298842796850115220758360717024057147127311396886, abgerufen am 27.08.2018.

- **.08**
DWD # DWD # Online unter:
https://www.dwd.de/DE/leistungen/_config/leistungsteckbriefPublication.pdf?view=nasPublication&nn=16102&imageFilePath=15724205195087775201140890833093013959832194945835366533808090732306740735857093909406369525219610688702668132081452606053659514128712084, abgerufen am 27.08.2018.
- **.09, .11**
Dr. Sebastian Schlund # Dr. Sebastian Schlund # -
- **.10**
Dr. Sebastian Schlund # Dr. Sebastian Schlund # Eigene Darstellung nach Sterner, Michael / Stadler, Ingo (2014): Energiespeicher. Bedarf, Technologien, Integration. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg Verlag. S. 600ff.

C4. Wind-Zu-Wasserstoff-Technologie, Elektromobilität (Seite 115 bis Seite 130)

- **.01, .02, .03, .04, .05, .06, .07, .08**
Wolfgang Claas # Wolfgang Claas # -

Anhang 3 – Tabellenverzeichnis

Legende

Kapitel

Tabelle .xx, .xx, .xx, ..., ...

Urheber # Lizenzeigentümer # Quellenangabe

B1. Klimawandel (ab Seite 35 bis Seite 64)

- **.01**
 - # - # Daten übernommen aus http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Datei:Meeresspiegelanstie2100_szenario_n.jpg, abgerufen am 27.08.2018. Daten nach Kapitel 13.4.1 aus Church, John A. / Clark, Peter U. / Cazenave, Anny [u.a.] (2013): Sea Level Change. In: Stocket, Thomas F. / Qin, Dahe / Plattner, Gian-Kasper [u.a.] (Hg.): Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom und New York: Cambridge University Press. S.1179-1182.

C1. Erneuerbare Energien als Garant zur Energieversorgung? (Seite 67 bis Seite 78)

- **.01**
 - # - # Errechnet nach Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. [BDEW] (2014): Erneuerbare Energien und das EEG: Zahlen, Fakten, Grafiken. Online unter: https://www.bdew.de/media/documents/20140224_Foliensatz-Energie-Info-Erneuerbare-Energien-und-das-EEG-2014.pdf, abgerufen am 27.08.2018.
- **.02**
 - # - # Eigene Darstellung nach Mayer, Johannes N. / Burger, Bruno (2014): Kurzstudie zur historischen Entwicklung der EEG-Umlage. Online unter: https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/ISE_Kurzstudie_EEG_Umlage_2014_07_14.pdf, abgerufen am 27.08.2018.
 - Und <https://www.netztransparenz.de/de/EEG-Umlage.htm> (und Unterseiten), abgerufen am 27.08.2018.

Anhang 4 – Abkürzungsverzeichnis

CO ₂ :	Kohlenstoffdioxid
EEG:	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EV:	Electric Vehicles
FCV:	Fuel Cell Vehicles
GKW:	Großkraftwerk
Gt C:	Gigatonnen Kohlenstoff
GU:	Grundumsatz
MPP:	Maximum Power Point
PEM:	Proton-Exchange-Membrane
PUR:	Polyurethane
PV:	Photovoltaik
RCP:	Representative Concentration Pathway
REES:	Renewable Energies Education Set
RLP:	Rheinland-Pfalz
USB:	Universal Serial Bus

Die Unterrichtsmaterialien wurden von folgenden Personen erarbeitet:

Heidemarie Awe – Gymnasium Carolinum, Neustrelitz

Dr. Beate Brase – Wilhelm-Raabe-Schule, Hannover (1. Auflage)

– Leibniz Universität, Niedersächsisches Studienkolleg, Hannover (2. Auflage)

Wolfgang Claas – Marie Curie Schule, Ronnenberg-Empelde

Andreas Degenhard – Ursulaschule, Osnabrück

Julia Dobbert – Lessing-Schule, Berlin

Olaf Müller – Gymnasium Carolinum, Neustrelitz

Steffen Reblin – Ratsgymnasium, Wolfsburg

Wolfgang Schäfer – Kurfürst Balduin Gymnasium, Münstermaifeld

Dr. Sebastian Schlund – Kurfürst Balduin Gymnasium, Münstermaifeld

André Steffans – Andreas-Vesalius-Gymnasium, Wesel

Mathilde Stoer – Canisius-Kolleg, Berlin

Zusätzlich waren an der Aktualisierung der 2. Auflage beteiligt:

Dr. Stefan Bäumel – Josef-Hofmiller-Gymnasium, Freising

Hartmut Oswald – OSZ TIEM, Berlin

Kristin Simon – Wissenschaftsladen, Bonn

Moderation und Redaktion:

Beate Ellrich – TOTAL Deutschland GmbH

Organisation:

Robin Köhler – TOTAL Deutschland GmbH

Die Informationen, die Sie auf den Seiten vorfinden, wurden nach bestem Wissen und Gewissen sorgfältig zusammengestellt und geprüft. Es wird jedoch keine Gewähr – weder ausdrücklich noch stillschweigend – für die Vollständigkeit, Richtigkeit und Aktualität übernommen.

Diese Publikation steht unter einer Creative Commons Namensnennung – Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 DE Lizenz.



Impressum

Herausgeber: Verein Mint-EC®

Verantwortlich: Dr. Niki Sarantidou

Koordination: Matthias Rech

Gestaltung Innenteil: Stefanos Papachristopoulos

Gestaltung Umschlag: www.rohloff-design.de

Bildnachweis Titel: taraki/BIGSTOCK

Mint-EC®, Mint-EC-Zertifikat®
und Mint-EC-SchulE® sind
geschützte Marken des Vereins
mathematisch-naturwissenschaftlicher
Excellence-Center an Schulen e. V.

Stand: Berlin, November 2018

Gefördert von

ENERGY IN MOTION, TOTAL Deutschland GmbH

Koordination: Beate Ellrich

Organisation: Robin Köhler

Bisher in der MINT-EC-Schriftenreihe erschienene Titel

IN DER RUBRIK TALENTE FÖRDERN

- Das MINT-EC-Zertifikat – Die Würdigung besonderer Leistungen im MINT-Bereich, 2. Auflage

IN DER RUBRIK UNTERRICHT GESTALTEN

- Materialien zur Informationstechnischen Grundbildung (ITG)
- Geometrische Ortslinien und Ortsbereiche auf dem Tablet – sketchometry im Unterricht
- Unterrichtsmodule zur Zerstörungsfreien Materialprüfung / Teil I
- Alles Chemie – Atombau und PSE
Deutschlandweiter Unterrichtssupport für die Sek I
- Alles Chemie – Säuren und Basen
Deutschlandweiter Unterrichtssupport für die Sek I
- ENERGY IN MOTION – Unterrichtsmodule zum Thema Energie – 2. Auflage

IN DER RUBRIK SCHULE ENTWICKELN

- Integration von geflüchteten Kindern und Jugendlichen in den Schulalltag

Verein MINT-EC®

Tel.: 030.40006732

E-Mail: info@mint-ec.de

 www.mint-ec.de

 @MINTecnetzwerk

 @mint_ec



www.mint-ec.de



9 783945 452097